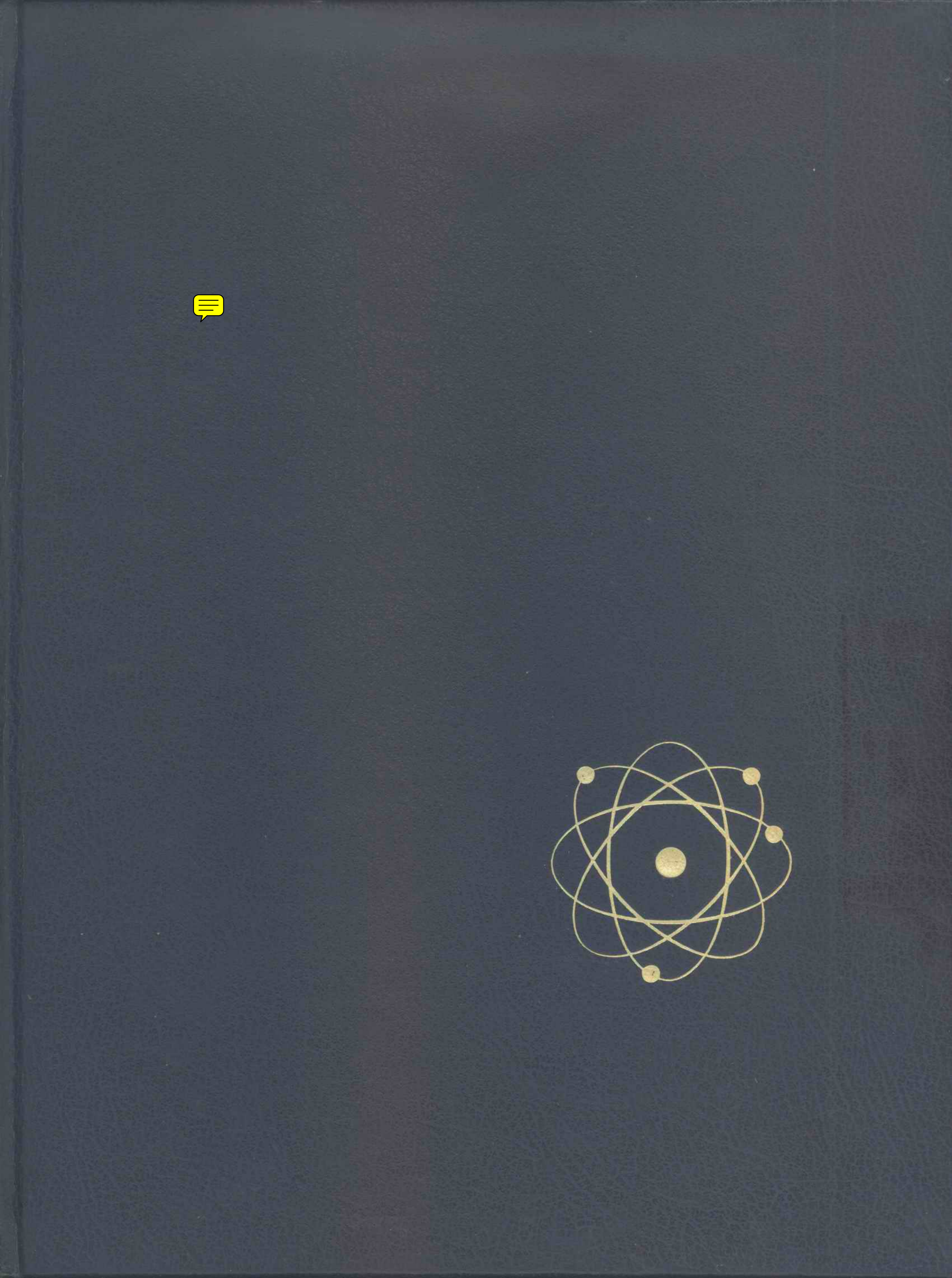
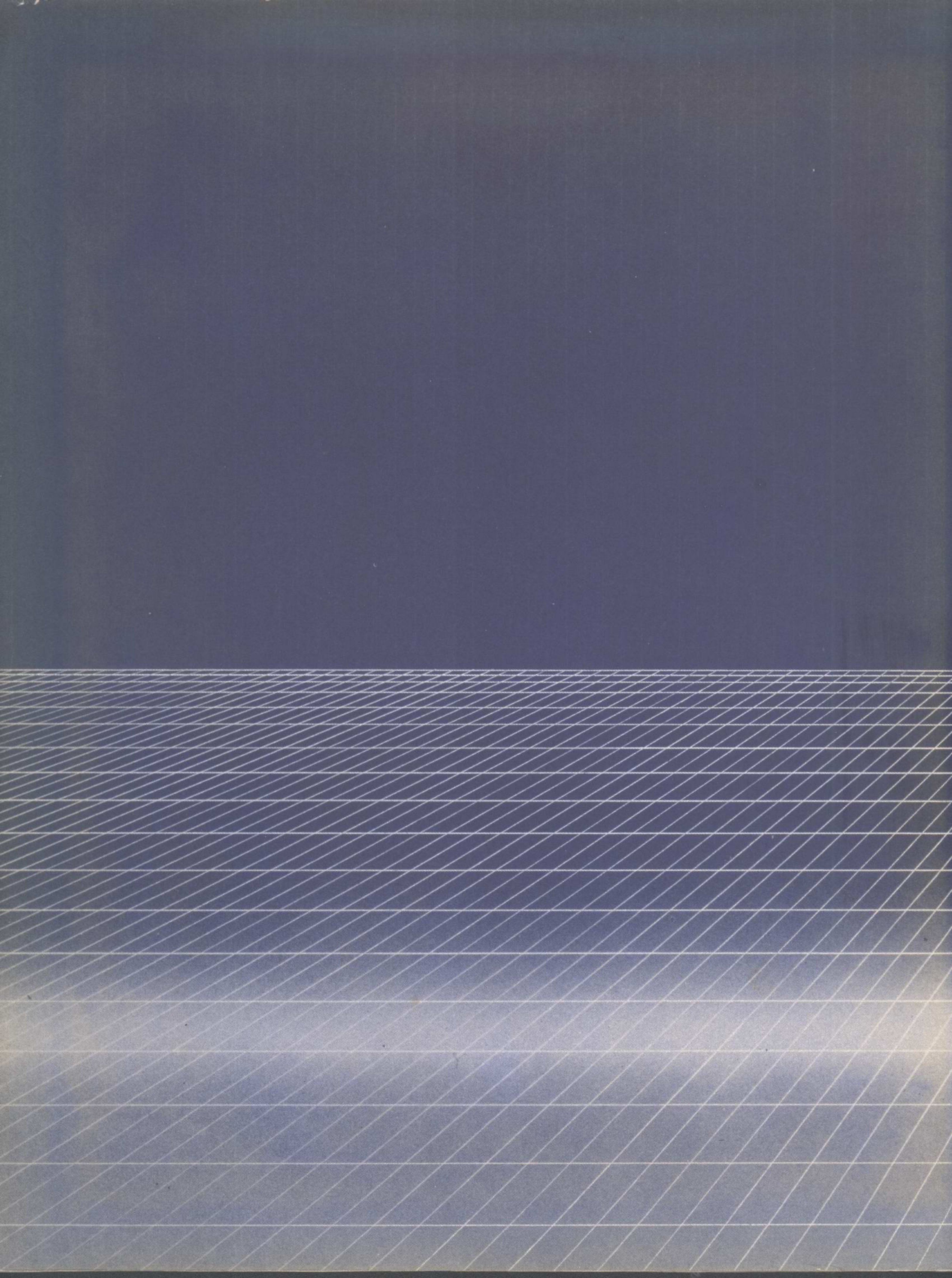


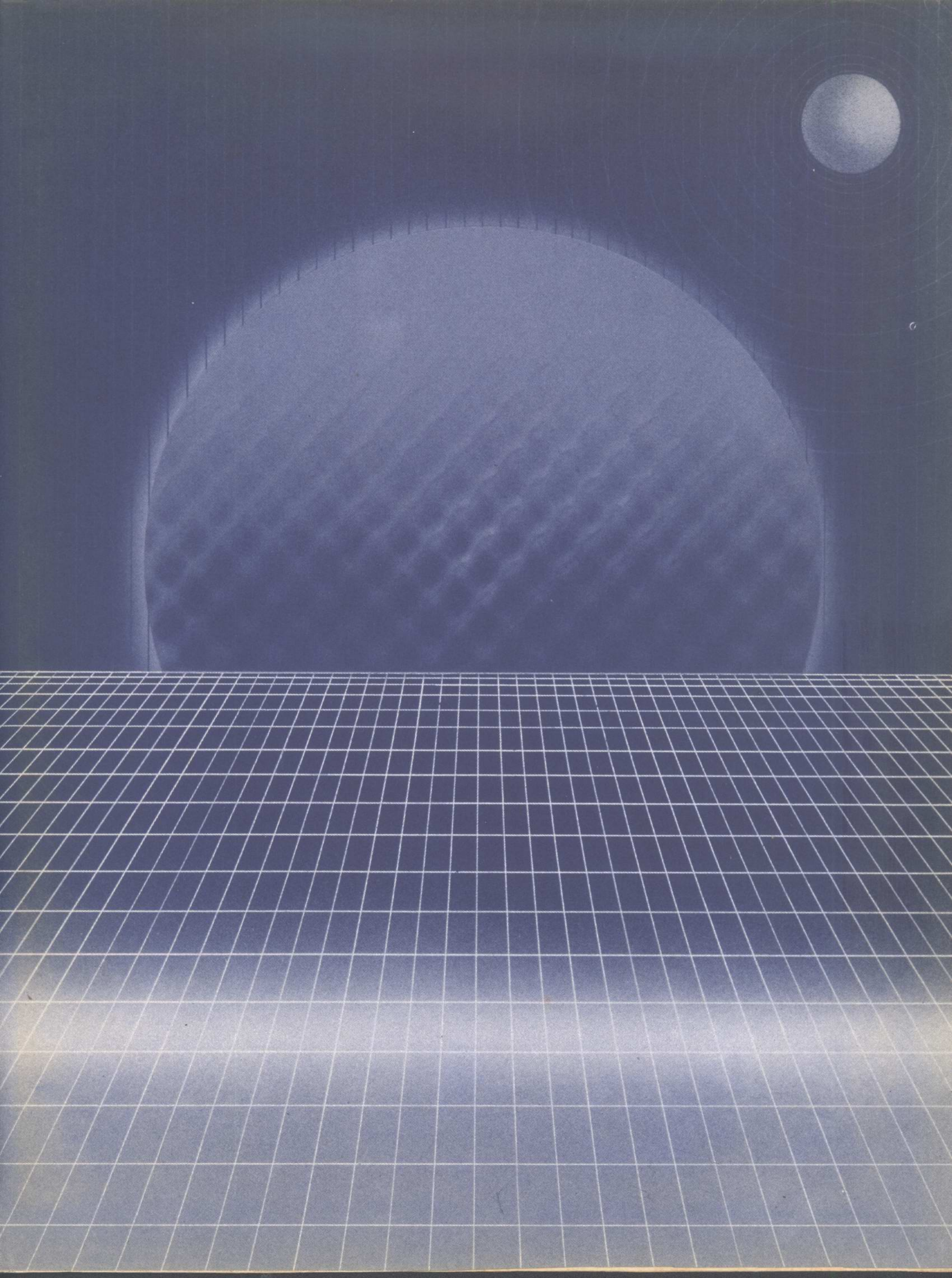
Ciencia y Técnica

6

[illegible]ICA
[illegible]OLOGIA

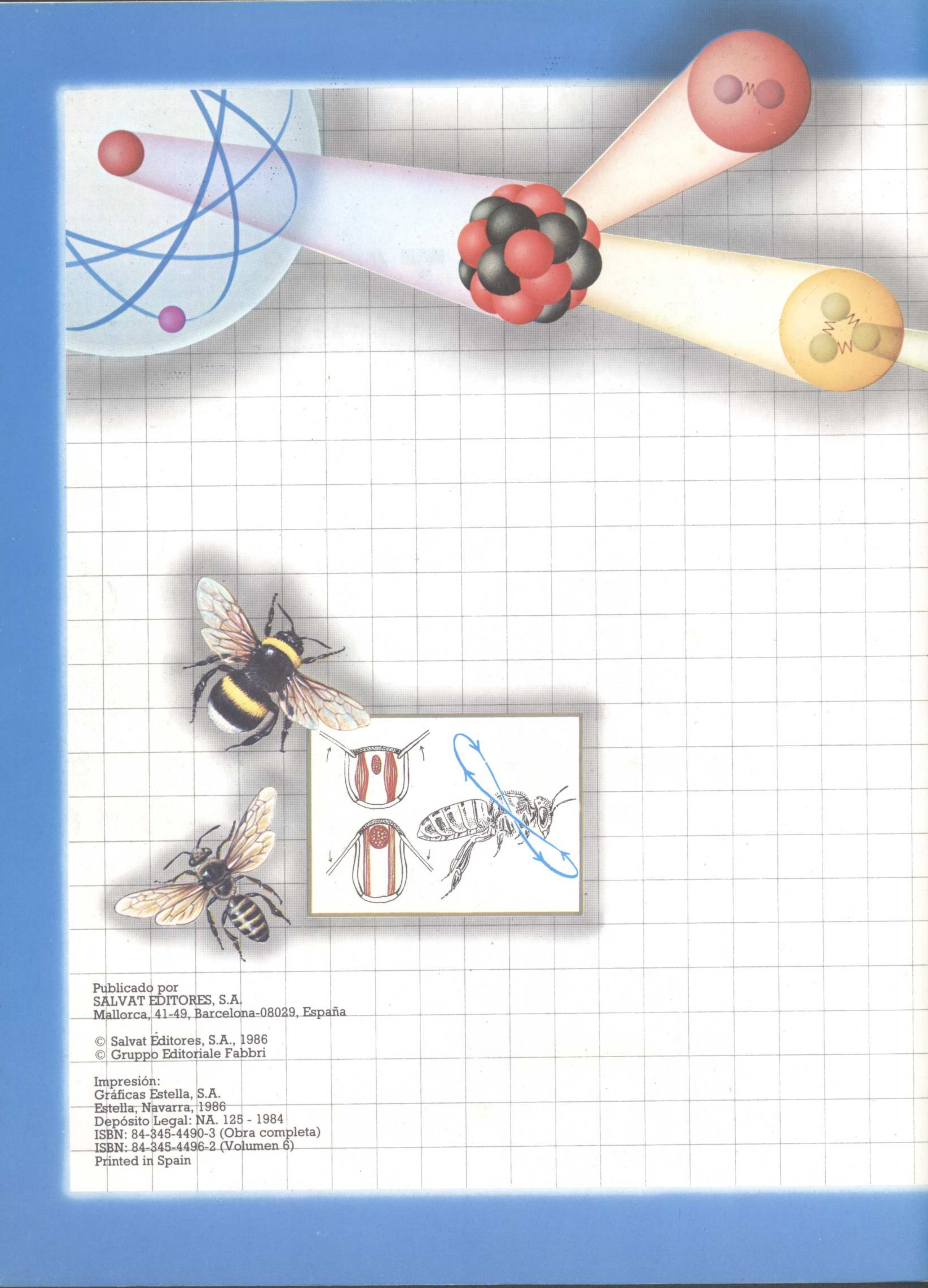
SALVAT





ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 41-49, Barcelona-08029, España

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1986
Depósito Legal: NA. 125 - 1984
ISBN: 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-4496-2 (Volumen 6)
Printed in Spain


ENCICLOPEDIA SALVAT DE
Ciencia y Técnica

Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann — Donald Antrim — Timothy Bay — Trudy Bell — Shelley Berc — David Black — Diane Blanchard — Bonnie Borenstein — Judith Brister — Jean Brody — Serena Cha — Robert Crease — Peter Cunningham — Dr. Rhodes Fairbridge — Marguerite Feitlwitz — Corinna Gardner — Barbara George — Ellen Goldensohn — Jean Grasso — Fitz Patrick — Peter Gyallay-Pap — Steve Hall — James Harris — Doug Henwood — David Herndon — Paul Hoeffel — Andrea Kantor — Jonathan Katz — Jim Keegan — Philippa Keil — Percy Knauth — Bary Koffler — Barbara Kopit — Paulette Licitra — Becky London — Deborah Lumpee — Charles Mann — Robert MacVicar — Dale McAdoo — Fred Nadis — Joy Nager — Peter Oberlink — Robert Salter — Sandra Sharp — George Shea — Howard Smith — Zev Trachtenberg — Vieri Tucci — Edit Emili Villareal — Veronica Visser — Graham Yost — Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen, edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
José Vicente García Ramos, *Instituto "Daza de Valdés"*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Ildefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
Isabel Espinel, *Licenciada en Ciencias Biológicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Gerardo Pastor, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
Antonio Ramos, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
Ana Sabaté, *Universidad Complutense*
M.ª Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Magna Santos, *Instituto "Daza de Valdés"*
Manuel Sigueros, *Instituto "L. Torres Quevedo"*

La palabra *estadística* es un substantivo que, en el lenguaje común, tiene la acepción usual de *recuento, censo* o tabla numérica de datos, por regla general de tipo económico, social o político (como corresponde a su etimología). También se usa como adjetivo que califica a dichos datos y tablas. En ambos casos, el pueblo llano y muchas personas cultivadas la utilizan con un tono entre despectivo y escéptico, mostrando su adhesión al dicho de que "hay mentiras, grandes mentiras y estadísticas."

Sin embargo hay otra acepción que proclama que la *Estadística* es una ciencia matemática, intelectualmente rigurosa y prácticamente de la mayor utilidad y aplicación en campos tan diversos como las ciencias naturales y sociales, la tecnología, la política, etc. Precisamente hoy resulta impensable una *estadística* en cuya elaboración no se haya tomado en cuenta los conocimientos y técnicas de la *Estadística*.

Como ciencia la *Estadística* utiliza los resultados y metodología del Cálculo de probabilidades y tiene por objeto la elaboración de métodos y modelos que permitan la descripción, el análisis y la predicción de fenómenos reales cuando estos son de carácter *aleatorio*.

Esclarecer el significado de lo *aleatorio* es un problema científico y filosófico complejo y, seguramente, nunca resuelto de modo del todo satisfactorio. De una manera un tanto simple y aproximada podríamos decir que un fenómeno o experimento es *aleatorio*, o que sus realizaciones o *sucesos* lo son, si no es posible predecir de un modo exacto, inequívoco y determinado el resultado de cada uno de ellos, pero, sin embargo, las *frecuencias* con que se presentan cumplen, una cierta *regularidad* (que suele calificarse de *estadística*). Por ejemplo: no puede predecirse si una moneda que se echa al aire va a posarse en la mesa sobre su *cara* o su *cruz*; pero la experiencia muestra que si el número de tiradas es muy alto las frecuencias de los dos sucesos —caer sobre la *cara* o sobre la *cruz*— se van aproximando ambas al 50%.

Frecuencia y probabilidad Como se ha indicado un fenómeno *aleatorio* —por ejemplo que la tirada de una moneda salga *cara* o *cruz*, que la de un dado dé un número entre uno y seis, que un nacimiento lo sea de un niño o una niña, etc.— puede estudiarse de modo simple midiendo las *frecuencias* con que se presentan los posibles *sucesos* del mismo. Se llama *frecuencia absoluta* de un *suceso* el número de veces que se obtiene la correspondiente realización del mismo y *frecuencia relativa* su cociente por el número total de experiencias. Por ejemplo si se lanza un dado cien veces puede ser que se hayan obenido las siguientes *frecuencias absolutas*: $n_1 = 15$; $n_2 = 20$; $n_3 = 17$; $n_4 = 9$; $n_5 = 23$; y $n_6 = 16$ (n_i = número de veces que ha salido la cara i al lanzar el dado). Las *frecuencias relativas* correspondientes serían: $f_1 = 3/20$; $f_2 = 1/5$; $f_3 = 17/100$; $f_4 = 9/100$; $f_5 = 23/100$; $f_6 = 4/25$ (con $f_i = n_i/n$, n_i frecuencia absoluta, $n = 100$, número total de tiradas).

La *Estadística descriptiva*, a partir de dichos resultados es capaz de producir unos pocos números —llamados los *estadísticos*— que resumen o sintetizan el comportamiento de la población. Por ejemplo en el caso del conjunto de tiradas de dado antes descrito se podría decir que el *valor medio* de la tirada ha valido 3.43 (resultado de sumar todos los valores obtenidos y dividir por el número de tiradas).

Sin embargo para muchas aplicaciones científicas, técnicas o económicas y, desde luego, siempre que se trata de predecir el comportamiento futuro (por ejemplo de las tiradas del mismo dado en una próxima tanda de las mismas) es necesario disponer de conceptos y métodos más sutiles. Para ello se construyó el concepto de *probabilidad*. Se trata de una función definida sobre el conjunto de los sucesos y que atribuye a cada uno de ellos un número real entre cero y la unidad —el primero al suceso *imposible* y el segundo al cierto o *seguro*— y que es *aditiva*; es decir que si dos sucesos son *incompatibles* o *mutuamente excluyentes* (en lenguaje conjuntista: *disjuntos*) la probabilidad del suceso unión o suma de ambos (es decir el que consiste en que suceda al menos uno de los dos) coincide con la suma de las probabilidades de ambos. Esta función matemática refleja en abstracto la propiedad concreta de las frecuencias relativas.

Desde un punto de vista matemático podrían darse probabilidades arbitrariamente y los resultados obtenidos ser lógicamente indiscutibles, sin embargo, para conseguir una adecuación entre la experiencia y la teoría, se adoptan como valores de las probabilidades los números hacia los que tienden a estabilizarse las frecuencias relativas cuando el número de experiencias es muy grande. En tal caso se dice que se ha dado una interpretación *frecuencial* al concepto abstracto de probabilidad. Se procede así en *Estadística*, de una forma análoga como se hace en geometría (en la que los axiomas de la teoría abstracta tratan de reflejar propiedades concretas).

La anterior ligazón entre Cálculo de probabilidades y Estadística descansa sobre dos hechos. El primero es de naturaleza empírica: cuando se aumenta indefinidamente el número de experiencias de un experimento aleatorio las frecuencias tienden a estabilizarse. El segundo es un



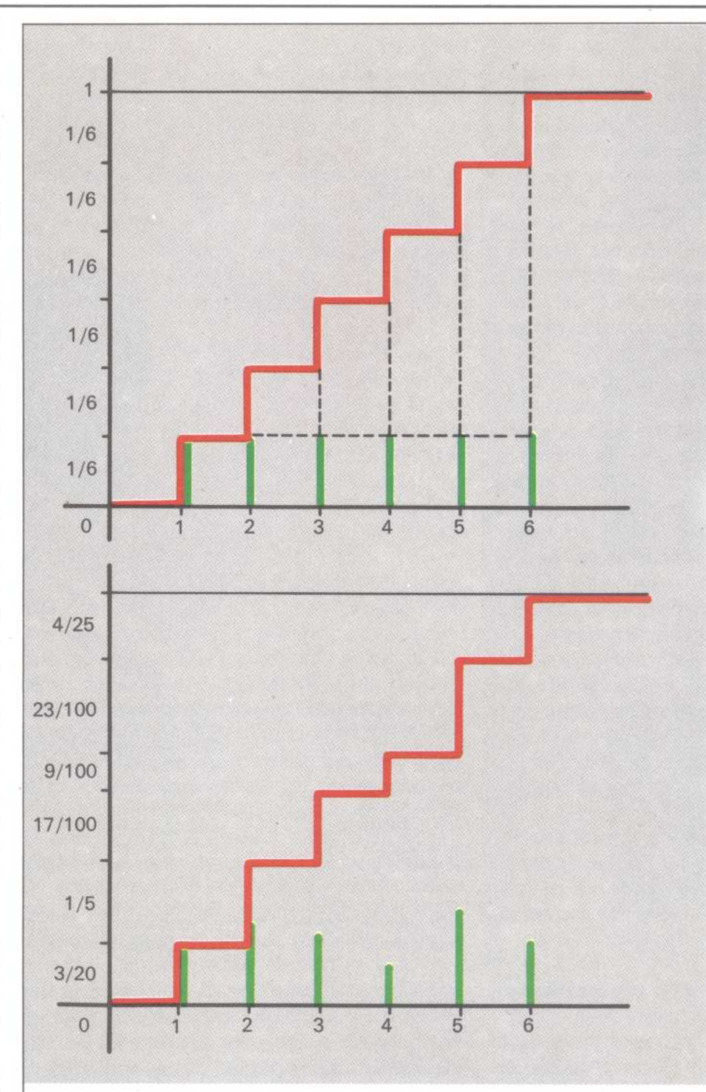
Los precedentes de la Estadística pueden buscarse en muchos campos (realización de censos, estudios biológicos y sociales, etcétera). Sin embargo, es indiscutible que, en su forma actual, es una rama del Cálculo de Probabilidades y éste es una disciplina matemática muy formalizada (apoyada, por ejemplo, en el Algebra de Boole y en la Teoría de la Medida y la Integral) aunque sus orígenes sean más bien lúdicos: los juegos de azar. Pascal y Fermat lo fundaron al resolver los problemas de casino que propuso al primero de ellos un amigo, el Caballero De Méré, en 1654. Hoy las cosas andan al revés y los jugadores *entendidos* en probabilidades prueban sus *combinaciones* en los casinos.

teorema matemático, *la ley de los grandes números*, cuya primera versión es de Jacobo Bernoulli, que afirma que, bajo ciertas condiciones, "la probabilidad de que, dada una cantidad $\varepsilon > 0$, la diferencia, en valor absoluto, entre el número que mide la frecuencia relativa y el que da la probabilidad de un suceso supere a ε, tiende a cero cuando el número de experiencias tiende a infinito".

Según ello la Estadística sería la ciencia que estudia los fenómenos aleatorios con los métodos tomados del Cálculo de probabilidades (rama teórica de la matemática). La cosa desde los puntos de vista histórico, heurístico y práctico presenta un aspecto algo diferente; en primer lugar porque la cuna del Cálculo de probabilidades no se halla en los gabinetes de los sabios, sino en las mesas de juego, ya que sus iniciadores, Pascal y Fermat, lo fueron al resolver, ante un requerimiento, en 1654, al primero de ellos por parte del caballero De Méré, ciertos problemas concretos de juego. En segundo término porque muchas de las cuestiones y técnicas actuales de la Estadística —más o menos *santificadas* por el rigor matemático del Cálculo de probabilidades— tienen orígenes lejanos en la confección de censos de población, en los cálculos de las compañías aseguradoras, en las medidas de características biológicas o psicológicas o en el estudio, en física o astronomía por ejemplo, de los errores de observación.

Clasificación de la Estadística Puede procederse a clasificar la Estadística de muchas maneras. Una primera sería en *Estadística teórica*, que es la que establece métodos y modelos basados en el Cálculo de probabilidades, y en *Estadística aplicada* que es la que los aplica a problemas concretos. Otra, más seria, la que lo hace en *Estadística descriptiva*, que es la que define y estudia los parámetros o *estadísticos* que describen poblaciones a partir de las mismas y en *Estadística Matemática*, que es la dedicada a idear métodos de *inferencia* (es decir de análisis y predicción). Dicha inferencia *estadística*, por otra parte, se ha referido clásicamente a tres tipos de cuestiones: el *muestreo*, la *estimación* y el *contraste*. El primero es el estudio de *muestras aleatorias*, es decir de colecciones de elementos tomadas al azar de una población, analizando cuales son sus características. La segunda a predecir, precisamente en base a como se comportan las muestras de una población, cuales son las características de ésta. Por último el *contraste de hipótesis estadísticas* es la técnica que da criterios probabilísticos, para rechazar o aceptar hipótesis referentes a las características de una población estadística según resulten las muestras tomadas en ella.

Véase **Contraste de hipótesis; Estadística descriptiva; Estimación estadística; Muestreo estadístico; Probabilidad; Teoría de la decisión**



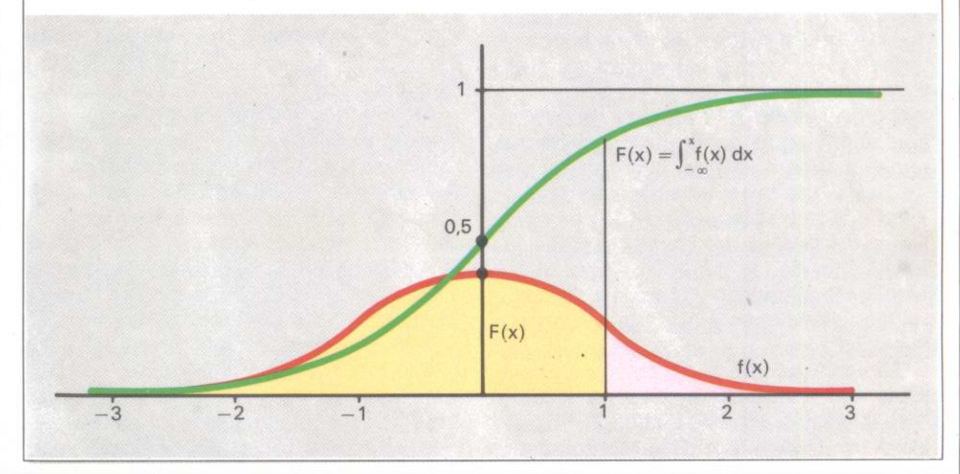
En el texto principal se ha puesto el ejemplo de un dado tal que al arrojarse 100 veces se obtienen unas determinadas frecuencias.
En la primera figura se representan las correspondientes *funciones de frecuencias*, $f(x_i) = n_i/n$, y de *frecuencias acumuladas* o *de distribución* $F(x_i) = \sum_{j \leq i} (n_j/n)$.
En la otra se representan, análogamente, las *funciones de probabilidad* Prob $(x = x_i) = 1/6$, para $x_i = 1$ a 6, y de *distribución de probabilidad*, $F(x) = \text{Prob}\ (x \leqslant x_i) = \sum_{j \leq i} p(x_j)$.

La más famosa distribución probabilística es la llamada *ley normal o de los errores* (o de Gauss-Laplace). Su *función de densidad* tiene la forma de campana que se representa en la figura; su *función de distribución* es la integral de la anterior. Sus significaciones probabilísticas y definiciones analíticas son las siguientes:

$$\text{Prob}\ (x \leqslant \xi \leqslant x + dx) = f(x)\,dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx$$

$$\text{Prob}\ (\xi \leqslant x) = F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)\,dx$$

Los parámetros, μ y σ son la media y la desviación típica de la distribución, en el caso de la figura: $\mu = 0$ y $\sigma = 1$.
Las variables aleatorias que obedecen exactamente a la ley normal y las poblaciones estadísticas cuya distribución de frecuencias lo hacen aproximadamente son innumerables.
Conviene observar, en contraposición al ejemplo del dado, que la ley normal corresponde a una variable continua (es decir, que sus valores son números reales cualesquiera), mientras que aquélla será discreta.



Estadística descriptiva

Desde su aparición sobre la Tierra, las grandes unidades políticas —ciudades, imperios o estados— han realizado censos de población, con fines militares, hacendísticos o de otro tipo. De ahí la etimología y, en cierto sentido, el origen de lo que hoy llamamos *Estadística* o, al menos, de la parte descriptiva de la misma. Resulta, por ejemplo, interesante señalar cómo el Cristianismo —con las reservas de algunos historiadores— sitúa el nacimiento de Jesús en Belén, y no en Nazaret, precisamente por la obligación de empadronarse en tal lugar su familia.

Históricamente las técnicas políticas, la demografía o el negocio de las compañías aseguradoras han promovido el desarrollo de actividades estadísticas. Lo cierto es que hoy las mismas son absolutamente generales en multitud de campos científicos, técnicos, económicos, etc. La *Estadística descriptiva* en concreto se ocupa, dada cierta población o universo, de recopilar sus datos, tabularlos adecuadamente, representarlos gráficamente y, a un nivel más sofisticado, elaborarlos y sintetizarlos, de modo que, reduciéndolos a unas pocas características numéricas o *estadísticos*, pueda tenerse una idea global de su conjunto. Por ejemplo: dada una población de miles, cientos de miles o millones de personas, se trata de recoger sus peculiaridades individuales, tabularlas y resumirlas en una síntesis de pocas cifras. Por ejemplo, piénsese en la *renta per cápita* como resumen de todas las rentas de todos los habitantes de un país.

El precedente quizá más remoto de la Estadística y que justifica además la etimología de su nombre (de *Estado*) se encuentra en la actividad censal que han tenido todos los sistemas políticos a lo largo del tiempo, motivada por la necesidad que los mismos han tenido de censos de población, con fines de recaudación de impuestos y reclutamiento de tropas. En la actualidad, los censos se hacen teniendo en cuenta los conocimientos de la Estadística y la Demografía modernas. Resulta, además, que dicha actividad ha estimulado entre otras cosas el desarrollo de máquinas informáticas; Herman Höllerith era un estadístico de la plantilla de la Oficina del Censo de EE. UU., al que se debe la versión actual de la tarjeta perforada (usada antes en la "máquina analítica" de Babbage que tomó, a su vez, inspiración en las tarjetas de los telares) y las primeras máquinas de tratamiento de las mismas, que fueron usadas en el censo americano de 1890.

Recogida, tabulación y representación de datos La cuestión práctica fundamental de la Estadística descriptiva es la de obtener los valores de la variable en estudio para cada elemento del conjunto (valor que puede darse de forma numérica o, por el contrario, ser cualitativo o nominal, en cuyo caso conviene traducirlo a una escala numérica) y tabular los correspondientes resultados.

En las tablas así obtenidas se reflejan frecuencias absolutas, n_i, y relativas, n_i/n, con que se presenta cada valor x_i. Puede haber un problema en el hecho de que los x_i discurran por una escala continua, en cuyo caso es lógico, desde un punto de vista numérico, reunirlos en *clases*; por ejemplo, la x_i, correspondería a un intervalo ordenado como *i*; se llama *marca de clase* al valor x_i (que suele elegirse como el correspondiente al punto medio).

Los problemas de recogida de datos y tabulación —que, desde un punto de vista matemático o teórico, parecen los más triviales,— son sencillamente exorbitantes (a veces insalvables). Piénsese, por ejemplo, en los censos de China, la URSS o los EE UU. Uno de los incentivos para el desarrollo de máquinas y técnicas informáticas fue precisamente el de la confección de censos.

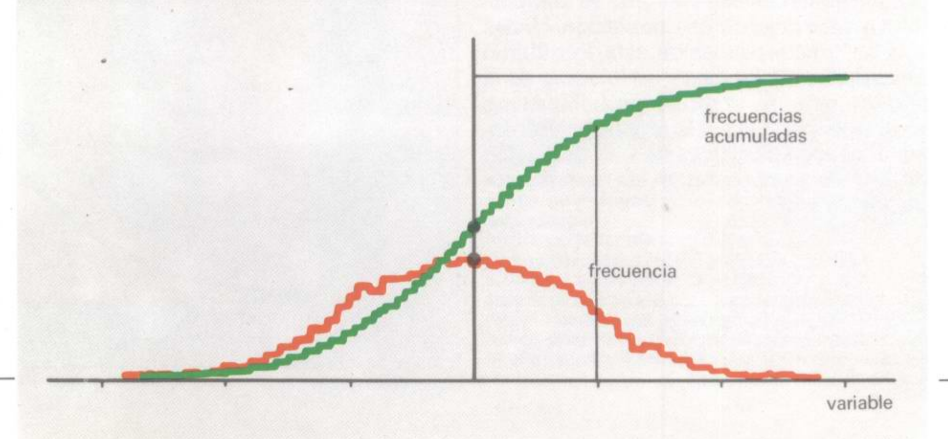
El paso siguiente a la tabulación puede ser, si ello resulta conveniente y factible, el de la representación gráfica. Los llamados diagramas de barras, de círculos, etc. suelen ser habituales para visualizar los datos que, en forma más técnica, deben servir para establecer la función de frecuencia de la variable.

Distribución de frecuencias. Medidas de centralización Si se tiene una población y se han obtenido las frecuencias relativas correspondientes a los distintos valores de la variable estadística, es decir: $f(x_i)=n_i/n$, se dice que *f* es la función de frecuencias o de densidad. Se llama función acumulada de frecuencias o *función de distribución* a la función

$$F(x_i)=\sum_{j\leq i}\frac{n_j}{n}=\sum_{j\leq i}f(x_j)$$

(En Cálculo de probabilidades, para definir las funciones de densidad y de distribución de variables probabilísticas o

En la figura se representan las *funciones de frecuencia y acumulada de frecuencias* correspondiente a una variable aleatoria que sigue aproximadamente, la *ley normal*. Durante mucho tiempo se ha pensado que prácticamente todos los fenómenos aleatorios debían dar origen a la *ley normal*. En su libro sobre el *Cálculo de Probabilidades* Poincaré, citando a Lippman, escribió: "Todo el mundo cree en la ley de los errores; los experimentadores, porque piensan que se trata de un teorema matemático; los matemáticos, porque creen que es un hecho experimental." La verdad es que ambos llevan razón: la ley normal aparece en una inmensidad de casos y ello tiene una explicación matemática: el teorema llamado "central del límite" (que asegura que, bajo ciertas hipótesis generales, una variable que se obtiene como media de varias variables tiende a tener una distribución normal cuando el número de aquéllas crece indefinidamente).



aleatorias, se sustituyen en las anteriores fórmulas los valores de las frecuencias por los de las probabilidades, conservando idénticas las expresiones cuando la variable es discreta y sustituyendo las sumas por integrales cuando es continua).

Los valores o parámetros característicos, o *estadísticos,* como también se les llama, en los que se resume la masa, a veces enorme, de datos referentes a una variable estadística son sólo unos pocos. Unos, los llamados de *centralización*, dan los valores alrededor de los que se concentra aquella; otros, los de dispersión, miden cómo se distribuye, amplia o concentradamente, en torno a los primeros dicha masa de datos.

El estadístico de centralización más usual y representativo es la *media*, llamado también *esperanza matemática* o *valor esperado* de la variable, que no es otra cosa que el *promedio* o *media aritmética*. Si los valores son los x_i y sus frecuencias n_i, la media vale

$$m=\bar{x}=\frac{1}{n}\sum n_i x_i=\sum \frac{n_i}{n} x_i=\sum x_i f(x_i)$$

siendo $n = \sum n_i$. Si todos los valores son distintos (o, no siéndolo, se cuentan tantas veces como aparecen), la media es simplemente, $\bar{x} = (1/n)\sum x_i$.

Las notaciones usuales son: *m*, $\bar{x}$ y también E(x) —que se lee "esperanza matemática de *x*"—, donde E actúa como un *operador* cuyo efecto es el de multiplicar primero cada valor por su frecuencia (o probabilidad si la variable es aleatoria) y luego sumar todos los productos.

El significado *mecánico* de la media es el de ser el centro de gravedad o de masas de las frecuencias; es decir, si las frecuencias o probabilidades fuesen masas colocadas en los valores correspondientes de la variable, la media sería su centro de gravedad. En economía y otras ciencias su significado es el del promedio que resultaría de sumar todos los valores y repartir luego igualitariamente.

Se usan también otros estadísticos que miden a su modo la centralización. Los más destacados son la *moda* y la *mediana*. Se llama *moda* al valor para el que se produce un máximo en la función de frecuencias. La distribución de frecuencias se llama *unimodal* si sólo tiene un máximo. La *mediana* es el valor de la variable que corresponde en la distribución acumulada al 50% de las frecuencias. Análogamente se usan también los *cuartiles, deciles* y *percentiles*. Los cuartiles son los valores correspondientes a 1/4, 1/2 (la mediana) y 3/4 del total de frecuencias acumuladas. Los deciles y percentiles son, análogamente, los valores de la variable que dividen en décimos o centésimos el conjunto de todas las frecuencias.

Medidas de dispersión. Momentos Las medidas de dispersión se refieren, usualmente, a la que existe en torno a la media, aunque también quepa definirlas alrededor de cualquier valor. En principio conviene observar que la dispersión simple alrededor de la media vale cero, ya que

$$\sum\frac{n_i}{n}(x_i-\bar{x})=\frac{1}{n}\sum n_i x_i-\left(\frac{1}{n}\sum n_i\right)\bar{x}=\bar{x}-\bar{x}=0$$

Por lo tanto, hay que tomar para medir dispersiones la esperanza del valor absoluto o de potencias pares de $x_i-\bar{x}$ (en la de las potencias impares se producen compensaciones entre los valores que dan separación positiva y los que la dan negativa, de modo que la misma puede anularse o tomar valores engañosamente pequeños). Se tiene así la desviación absoluta

$$\sum\frac{n_i}{n}|x_i-\bar{x}|$$

y la llamada *varianza*

$$s^2=\sum\frac{n_i}{n}(x_i-\bar{x})^2=\sum(x_i-\bar{x})^2 f(x_i)$$

La varianza —o medida cuadrática o esperanza matemática de $(x_i-\bar{x})^2$— es el cuadrado de la llamada *desviación típica*

$$s=\sqrt{\Sigma(x_i-\bar{x})^2 f(x_i)}$$

que tiene la ventaja de tener la misma magnitud (longitud, masa, etc.) que las x_i.

Conviene señalar que el operador esperanza matemática permite unificar propiedades y resultados. Por ejemplo:

$$\bar{x}=E(x) \qquad s^2=E(x-\bar{x})^2$$

y, de modo general, definir los llamados momentos respecto al origen

$$E(x)^k$$

o respecto a la media (o centrales)

$$E(x-\bar{x})^k$$

o, incluso, respecto a cualquier punto c

$$E(x-c)^k$$

El operador E es lineal, es decir:

$$E(\alpha g_1(x)+\beta g_2(x))=\alpha E(g_1(x))+\beta E(g_2(x))$$

donde g_1 y g_2 son funciones para las que se define

$$E(g(x))=\sum\frac{n_i}{n}g(x_i)=\sum g(x_i)f(x_i)$$

También permite definir medias generalizadas con la siguiente técnica

$$g(Mg)=\Sigma g(x_i)f(x_i)$$

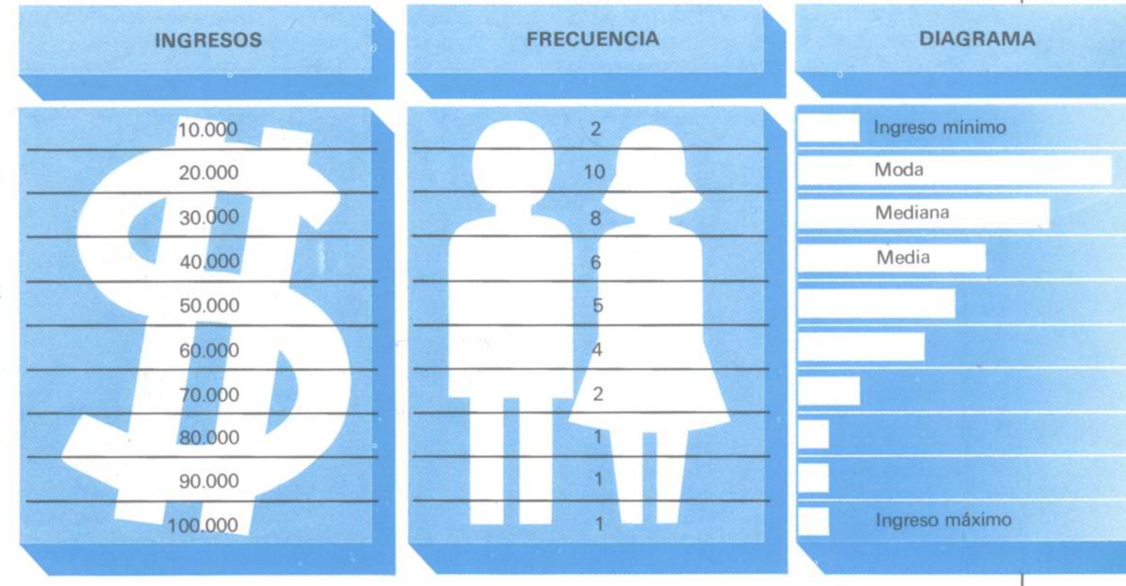
donde *g* designa una función cualquiera y *Mg* la media generalizada. Por ejemplo, pueden así reencontrarse medias clásicas, como la armónica o la geométrica.

$$\frac{1}{Ma}=\sum\frac{n_i}{n}\frac{1}{x_i} \quad ; \quad Ma=\frac{1}{\sum\frac{n_i}{n}\frac{1}{x_i}}$$

$$\log Mg=\sum\frac{n_i}{n}\log x_i \quad ; \quad Mg=\sqrt[n]{x_1^{n_1}\dots x_r^{n_r}}$$

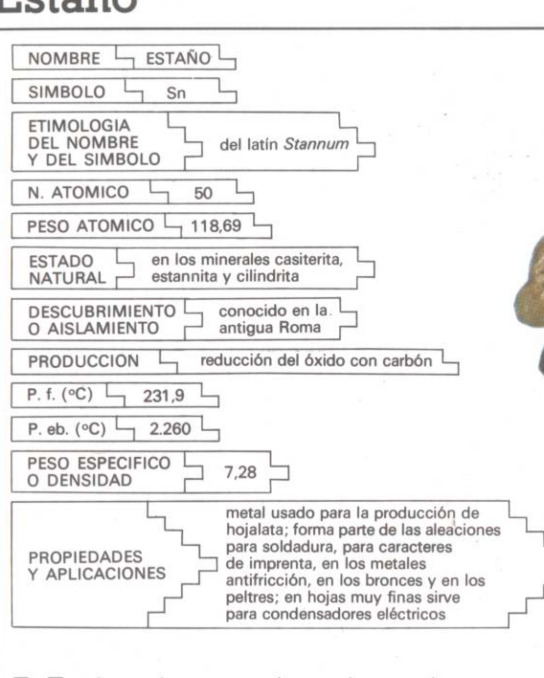
Cuando se trata de una variable aleatoria (o probabilística) en las distribuciones, llamadas entonces de "probabilidad", se sustituyen los valores de las frecuencias por los de aquélla, pero se conservan las mismas definiciones, si las variables toman valores discretos, o se sustituyen las sumas por integrales cuando toman valores continuos.

Véase **Contraste de hipótesis; Estadística; Estimación estadística; Muestreo estadístico; Probabilidad**



Es un tópico (falso e injusto) el que asegura que la Estadística es una forma elaborada de mentira. El mismo se apoya en comentarios como el referente al par de personas de las que una come dos pollos al día y la otra ninguno y cuyo consumo medio es de un pollo. En la figura adjunta se describe la tabla de frecuencias de los ingresos (sueldos en una empresa, rentas en un país, etc.) de 40 personas que varían entre 10.000 y 100.000 unidades monetarias. En ella se ve cómo el *ingreso medio* es de 40.000 y cómo un *buen* conocimiento estadístico utilizaría otros parámetros: por ejemplo, la *mediana*, 30.000, que nos dice que la mitad de las personas ganan menos o igual que dicha cantidad; o la *moda*, 20.000, que indica cuál es el ingreso más frecuente. Si se insiste en usar la *media* conviene ponerla en relación con la *desviación típica* que, tras un breve cálculo, se ve que vale 13.490; entonces se puede decir que el número de personas con ingresos comprendidos en el intervalo 40.000 ± 13.490 son 19 y las incluidas en el intervalo 40.000 ± 27.980 son 33. Informaciones ambas que reflejan bien la desigualdad del reparto de los ingresos.

Estaño



NOMBRE	ESTAÑO
SIMBOLO	Sn
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *Stannum*
N. ATOMICO	50
PESO ATOMICO	118,69
ESTADO NATURAL	en los minerales casiterita, estannita y cilindrita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	conocido en la antigua Roma
PRODUCCION	reducción del óxido con carbón
P. f. (°C)	231,9
P. eb. (°C)	2.260
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	7,28
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal usado para la producción de hojalata; forma parte de las aleaciones para soldadura, para caracteres de imprenta, en los metales antifricción, en los bronces y en los peltres; en hojas muy finas sirve para condensadores eléctricos



El mineral más importante para la extracción del estaño es la casiterita. Es el dióxido del elemento (SnO_2), y se presenta a menudo como cristales, que podrían ser de color claro cuando son puros, pero que normalmente aparecen oscuros por la presencia de impurezas de hierro. A la izquierda, dos muestras de casiterita.

Muchos elementos tienen la propiedad de transformarse de una forma cristalina en otra a temperaturas más o menos elevadas, con liberación de energía. Esta propiedad se llama *alotropía*, y a las distintas formas cristalinas se les denomina *formas alotrópicas*. La transformación va acompañada por un cambio en las propiedades físicas del elemento. El estaño presenta tres formas alotrópicas sólidas: la *cúbica*, por debajo de 13 °C (estaño gris); la *tetragonal*, entre 13 °C y 161 °C (estaño blanco); y la *rómbica*, por encima de los 161 °C hasta los 231,9 °C, en que funde.

La transformación de la forma blanca en gris presenta un grave inconveniente: el estaño se torna quebradizo e incluso se reduce a polvo grisáceo, como comprobó Erdmann, en 1851, en los tubos de estaño de un órgano. La transformación es tanto más drástica cuanto más baja es la temperatura. Este cambio es conocido como *peste del estaño*. Puede ser evitado añadiendo al estaño pequeñas cantidades de otros elementos, como antimonio y bismuto.

El estaño blanco plateado (forma tetragonal) es dúctil y maleable: puede ser trabajado en láminas muy finas. Cuando una barra de estaño se dobla o se somete a torsión se rompe y produce un típico crujido ("grito del estaño"), atribuido a la rotura de la red cristalina metálica.

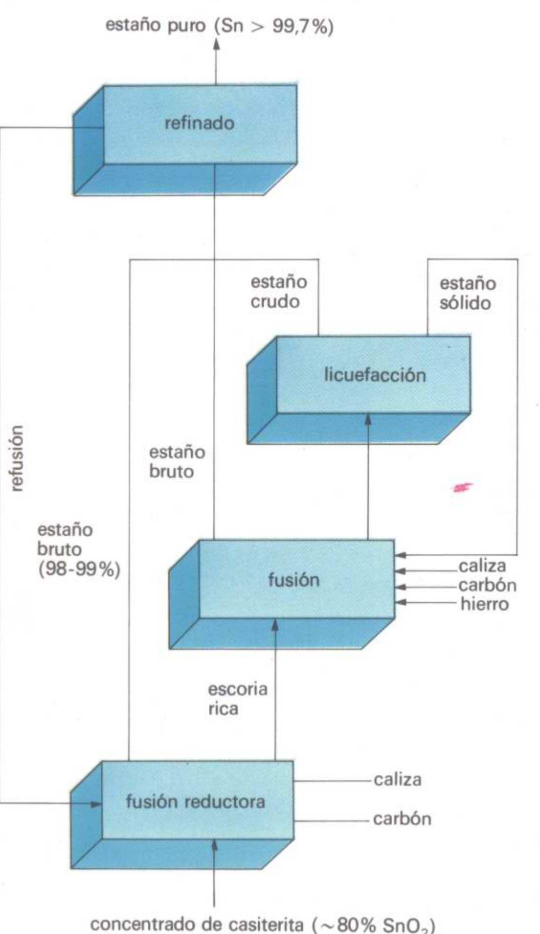
El grupo del carbono El estaño pertenece a la familia de elementos que constituyen el grupo del carbono. Como es sabido, determinados elementos forman un grupo cuando poseen características químicas similares entre ellos. Los elementos de un mismo grupo se encuentran en la misma columna vertical de la Tabla Periódica de los Elementos. El grupo del carbono está situado en la quinta columna, de derecha a izquierda; en la clasificación actual, esa columna corresponde al grupo *4a* (encabezado por el carbono, seguido del silicio, germanio, estaño y plomo).

Respecto a los otros grupos de la Tabla Periódica, el grupo del carbono no está muy caracterizado, puesto que los elementos del grupo poseen características más bien diversas uno de otro. El carbono es un elemento netamente no metálico, el silicio y el germanio son considerados como metaloides, con características intermedias entre los metales y los no metales, comportándose el estaño y el plomo como metales.

Aplicaciones del estaño El estaño ha sido uno de los primeros metales trabajados por el hombre. Este elemento pudo ser obtenido en tiempos prehistóricos, debido a su fácil reducción al fuego (reducción con carbón de leña), a partir del mineral más extendido, la casiterita (SnO_2). En las pinturas de las antiguas tumbas egipcias aparecen representados trabajadores que preparan el bronce, una aleación constituida por cobre y estaño. La Edad del Bronce, que va del 2000 al 1000 a. de C., representa un período caracterizado por el uso de esta aleación del estaño para la preparación de herramientas y de armas. Actualmente el uso del estaño está aún más diversificado. Se usa para la fabricación de hojas finísimas, de contenedores y de electroimanes, utilizados a muy bajas temperaturas.

Por su elevada resistencia a la corrosión, el estaño se emplea para revestir otros metales o como componente de aleaciones. Por ejemplo, los botes están formados por una sutil capa de estaño que recubre una lámina de acero, de forma que combina las propiedades del acero con la resistencia a la corrosión del estaño. Estos botes se usan especialmente para la conservación de productos alimenticios, donde es esencial prevenir la contaminación producida por las paredes

Abajo, las fases principales de la producción de estaño a partir de la casiterita triturada. Puesto que el mineral es un óxido, la extracción es en sustancia una reducción, que se lleva a cabo con carbono en hornos a reverbero. Se obtiene así estaño para el refinado, pero también escoria que debe ser sometida a ulterior refinado. Esto exige la presencia del hierro: el metal que sale de este proceso va por ello unido al hierro con el que se remueve. Tanto en el proceso de fusión como en el de refinado, el estaño produce escorias que deben ser recicladas. Estos procesos son más perfectos que los empleados antiguamente (antes de la Edad de Hierro) y que permitieron al hombre primitivo disponer de un metal duro, el bronce.



Malasia 84,4 t
China 23 t
Bolivia 7 t
Thailandia 19,8 t
Indonesia 15,1 t
Nigeria 5,6 t
Zaire 0,6 t
Australia 7,2 t
Otros 60 t

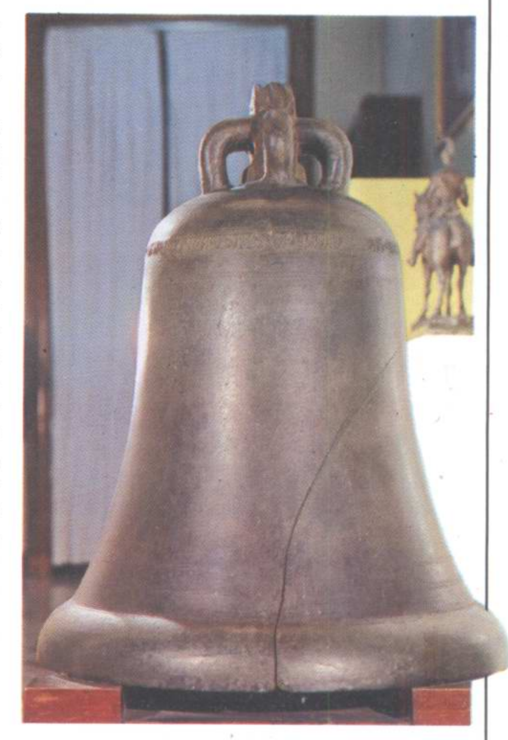
A la izquierda, distribución de la producción de estaño mineral entre los diversos países. Abajo, una campana, producto manufacturado tradicionalmente hecho con aleación de cobre y estaño (bronce). El estaño, blando si es puro, en aleación con el cobre, también blando, da lugar al bronce, aleación que no solamente es durísima, sino también resistente a muchos tipos de corrosión, entre ellos la del agua de mar. A esto se debe su uso en la industria naval.

del envase. Las vasijas y utensilios de cobre también se recubren con una capa de estaño para evitar la carbonatación del cobre (*cardenillo*).

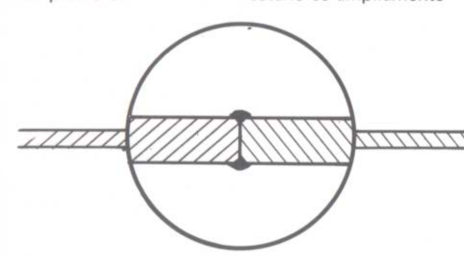
Los compuestos químicos del estaño son a menudo utilizados en los sectores de los fungicidas, de los desinfectantes y de los *sprays* para usos agrícolas.

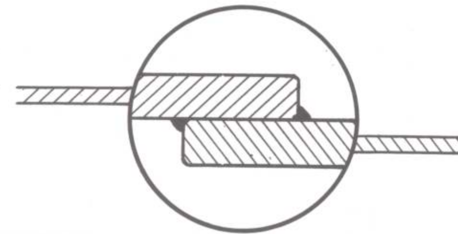
Entre las demás aleaciones del estaño está el *peltre*, constituido por estaño (cerca del 85%), antimonio, bismuto y cobre. En las aleaciones empleadas para caracteres de imprenta, el estaño está contenido en concentraciones comprendidas entre el 3 y el 13%. Una aleación muy peculiar de estaño y niobio se usa en la fabricación de electroimanes superconductores, porque la resistencia de tal aleacción, a temperaturas muy bajas, disminuye hasta valores muy notables; así, dichos electroimanes consumen menos energía y su mantenimiento es más económico. Estos imanes superconductores se emplean en los aceleradores de partículas y en los reactores de fusión, para los que se precisan potentes electroimanes que creen intensos campos magnéticos.

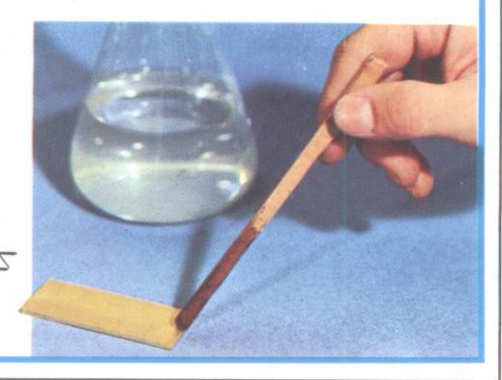
Véase **Aleación; Tabla Periódica de Elementos**



Uno de los usos más difundidos del estaño puro es el de la soldadura blanda a baja temperatura, muy empleada en la unión de componentes electrónicos en los circuitos eléctricos. El estaño puro o aleado con plomo en porcentajes no superiores al 50% se emplea para soldar metales como hierro dulce, latón y cobre. Aunque pueden soldarse otros metales, como el oro, este tipo de soldadura no se usa para los mismos. El estaño es ampliamente utilizado en la fabricación de hojalata, empleada en envases de conservas alimenticias. Abajo, a la izquierda, se indica cómo soldar borde con borde dos láminas metálicas, pero se obtiene entonces una unión débil; a la derecha, por el contrario, una superposición parcial de los bordes permite obtener, con dos líneas de soldadura, una junta mecánicamente más robusta. La zona a soldar debe pulirse y limpiarse bien, lo que se consigue recubriéndola con una disolución de cloruro de cinc (como se observa bajo estas líneas).







Estática

La *Estática* es el capítulo de la Mecánica clásica que se ocupa de la física de los cuerpos en reposo. De gran importancia para la Ingeniería, proporciona la base para la resolución de los complejos sistemas de fuerzas inherentes a las estructuras rígidas, como las arquitectónicas o las de maquinaria pesada. Es importante tener presente que, aunque en los sistemas estáticos no aparece el movimiento, los principios generales que rigen la Dinámica son los mismos que los de la Estática.

Fuerza En Estática —estudio de sistemas de cuerpos rígidos en reposo los unos respecto a los otros— la *fuerza* puede ser definida como cualquier acción que tienda a desplazar un objeto o a deformarlo.

En base a la segunda ley de Newton, la *magnitud* de una fuerza es igual al producto de la masa del objeto sobre el que se ejerce multiplicada por la aceleración que le imprime ($F = m \times a$). Resulta evidente, pues, que una vez que a una masa se le ha impreso una aceleración, dicha masa deja de estar en reposo y, a partir de ese instante, su comportamiento está regido por los principios de la Dinámica en lugar de por los de la Estática. Esto no significa que en un sistema estático no existan fuerzas; lo que ocurre es que, en condiciones de equilibrio estático, la suma algebraica —o *resultante*— de todas las fuerzas presentes es cero.

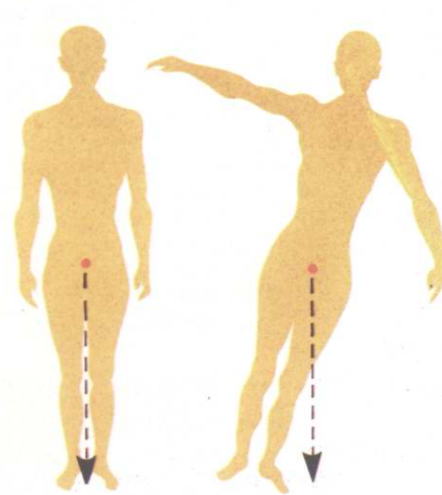
La tercera ley de Newton En la tercera ley de Newton se expresa un importante principio relativo a las fuerzas: a toda acción le corresponde una reacción igual y contraria. Si un cuerpo ejerce una determinada fuerza sobre otro cuerpo, éste reacciona con una fuerza equivalente. Dichas fuerzas tienen igual intensidad y dirección, pero sentido contrario.

Si colgamos un ladrillo del techo mediante una cuerda no elástica, alcanzará un estado de reposo en el que la cuerda estará tensa. Es la gravedad la que ejerce una fuerza sobre el ladrillo, representada por el peso del mismo y dirigida hacia abajo. Al mismo tiempo, la cuerda ejerce sobre el ladrillo una fuerza exactamente igual y opuesta a la ejercida por la gravedad, que lo hace permanecer suspendido. Si se cortase la cuerda, el ladrillo, naturalmente, experimentaría una aceleración que lo haría caer al suelo; pero con la cuerda intacta las fuerzas ejercidas sobre el ladrillo se anulan recíprocamente. Tanto el ladrillo como la cuerda se encuentran en una condición de *equilibrio estático*.

Momento de una fuerza El concepto de *momento* o *par* se aplica a la fuerza que tiende a hacer girar un objeto en torno a un eje fijo. Dicho par depende de la fuerza aplicada y de la distancia de su punto de aplicación respecto al eje. Un buen ejemplo de par lo proporciona una llave fija, que se emplea para apretar y aflojar tuercas. Cuanto más lejos del tornillo sujetemos la llave, mayor es el momento de la fuerza ejercida y menor el esfuerzo necesario para accionar la tuerca. Lo mismo ocurre a menudo en el campo de la Estática; por ejemplo: en las piezas de máquinas que, aunque aparentemente están fijas, deben soportar pares que tienden a moverlas.

El centro de gravedad El centro de gravedad de un cuerpo es un concepto explicado por primera vez por el famoso matemático griego Arquímedes. Se trata de aquel punto de un cuerpo sobre el que, en la práctica, se puede considerar concentrada toda la masa del cuerpo. En una esfera homogénea, el centro de gravedad es, naturalmente, el propio centro de la esfera; pero en estructuras asimétricas de material no homogéneo es mucho más complicado establecer la posición del centro de gravedad. Este concepto de

Bajo estas líneas, esquema de la situación del centro de gravedad del cuerpo humano. El hombre está de pie mientras el vector que representa su peso, siempre vertical, queda dentro de la base de apoyo, constituida por los pies y el espacio entre ellos. En caso contrario, el hombre se cae, "pierde el equilibrio". Más abajo, procedimiento para medir la fuerza de rozamiento estático. Aumentando el ángulo, se alcanza una posición "límite" a partir de la cual el ladrillo empieza a resbalar, independientemente de la cara sobre la que está apoyado.



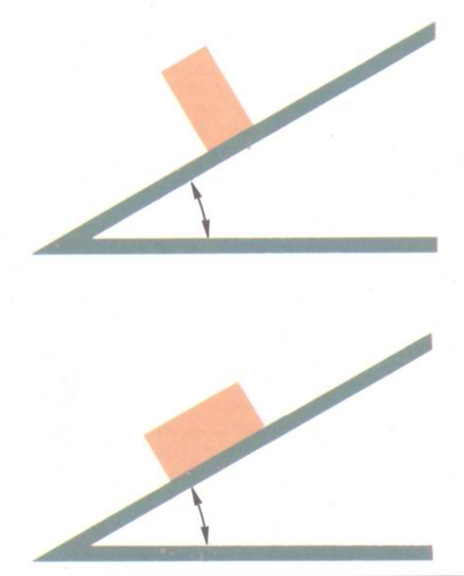
equilibrio estable

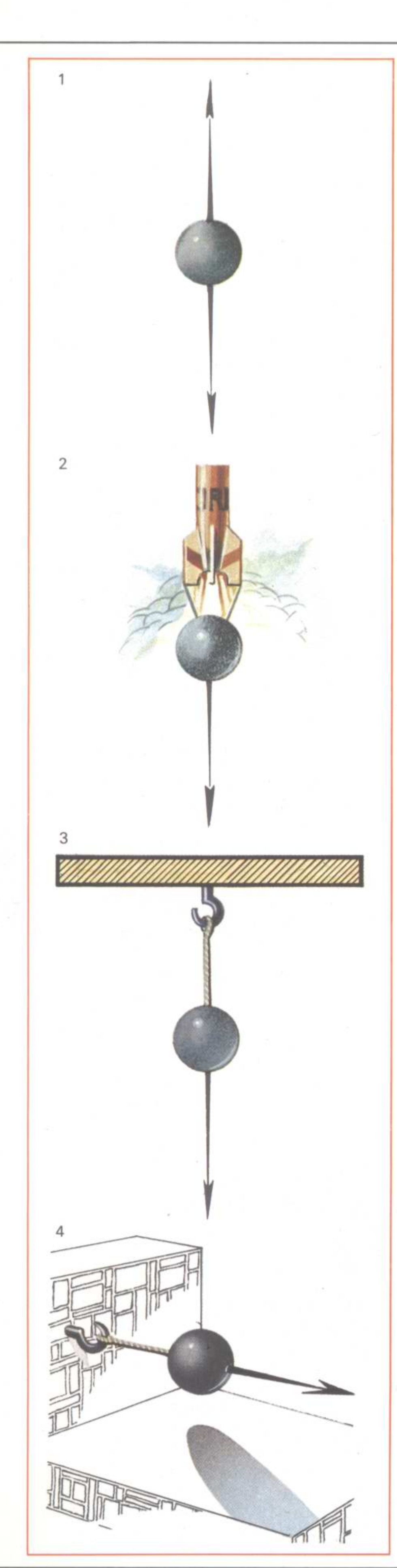
equilibrio inestable

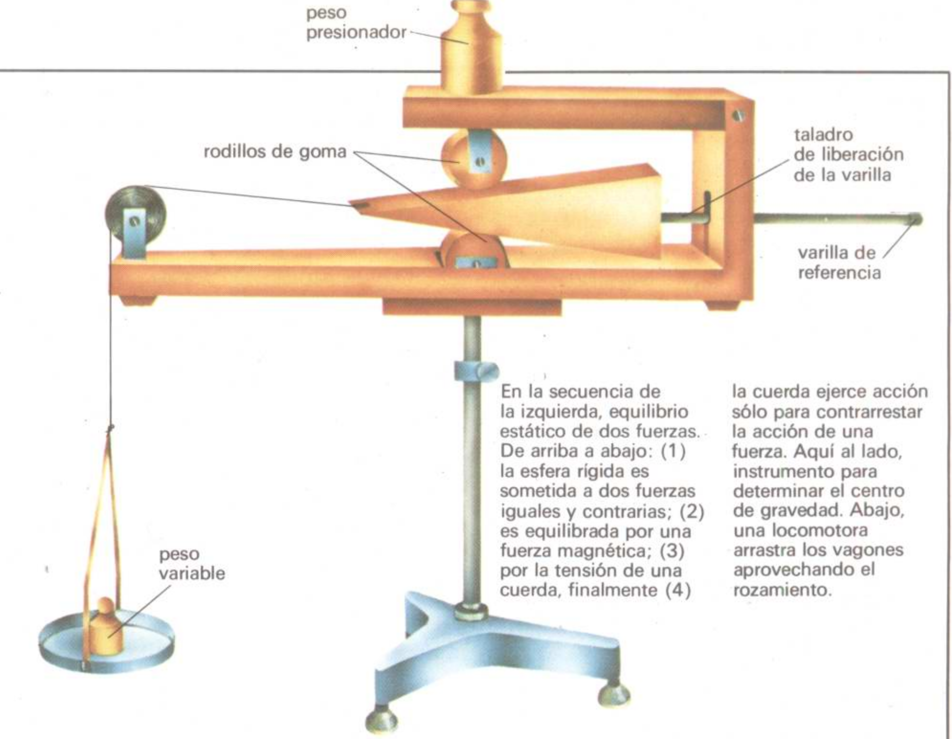
equilibrio metaestable

equilibrio indiferente

El equilibrio estático puede manifestarse de distintas maneras dependiendo del comportamiento del cuerpo cuando es alejado ligeramente de su posición de reposo. Si vuelve a ella, el equilibrio es *estable*; si se aleja, *inestable*; si vuelve a la posición de equilibrio hasta un determinado desplazamiento a partir del cual vuelve a alejarse de ella, es equilibrio *metaestable*; si el cuerpo después del desplazamiento encuentra una nueva posición de equilibrio, se dice que el cuerpo se encuentra en equilibrio *indiferente*.





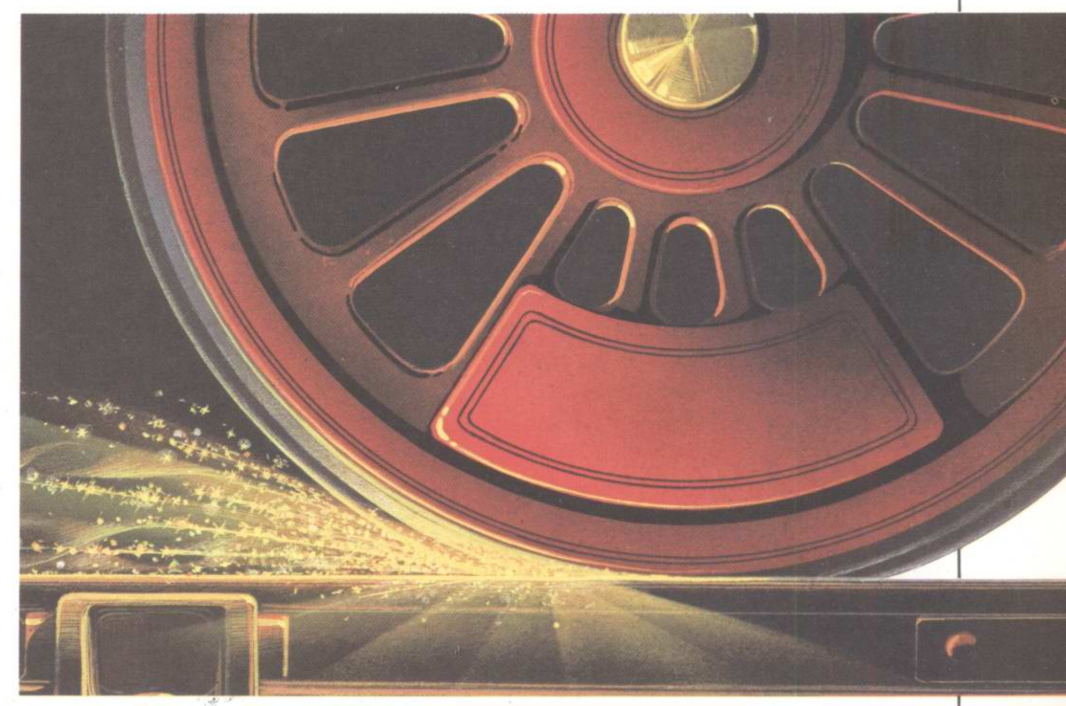


En la secuencia de la izquierda, equilibrio estático de dos fuerzas. De arriba a abajo: (1) la esfera rígida es sometida a dos fuerzas iguales y contrarias; (2) es equilibrada por una fuerza magnética; (3) por la tensión de una cuerda, finalmente (4) la cuerda ejerce acción sólo para contrarrestar la acción de una fuerza. Aquí al lado, instrumento para determinar el centro de gravedad. Abajo, una locomotora arrastra los vagones aprovechando el rozamiento.

centro de gravedad permite considerar a cuerpos con dimensiones enormes —por ejemplo, los planetas— como si fuesen cuerpos puntiformes, y ello posibilita su esquematización de un modo sencillo para realizar ciertas elaboraciones matemáticas. Está claro que, en una ciencia basada en el equilibrio, el centro de gravedad, es decir, el punto en el que se puede considerar aplicada la fuerza (peso de un cuerpo), adquiere gran importancia.

El rozamiento En las aplicaciones prácticas de la Estática es necesario tener siempre en cuenta el rozamiento, que es originado por la "rugosidad" natural de dos superficies en contacto, rugosidad que, por una parte, dificulta el movimiento, pero por otra lo hace posible; sin rugosidades en el suelo y en el calzado, por ejemplo, no se podría caminar. El rozamiento estático, esa fuerza que impide, a un libro resbalar a lo largo de un tablero inclinado, también asegura la estabilidad de una escalera inclinada mientras una persona trabaja sobre ella. En muchos casos, el rozamiento es una fuerza desfavorable. Por esta razón muchas máquinas se construyen con rodamientos que permiten minimizar —debido también a la utilización de lubricantes— la resistencia que el rozamiento presenta al movimiento. Más que cualquier otra fuerza de la Estática, el rozamiento diferencia las esquematizaciones teóricas de la Estática de las aplicaciones prácticas reales.

Véase **Fuerza y campos de fuerza; Gravedad y gravitación; Mecánica**



Estatorreactor

El estatorreactor es el tipo más simple de motor a reacción capaz de producir autónomamente y sin órganos mecánicos la compresión del aire de alimentación necesario para su funcionamento; conocido también como *motor térmico, autorreactor* y *ramjet*, presenta la característica de ser estático, no estando dotado de movimiento ninguno de sus componentes esenciales.

El estatorreactor es un motor a reacción que se basa en la ley de acción y reacción de Newton. La acción está representada por los gases, que como resultado de su combustión en una cámara a presión, salen formando un chorro caliente después de expandirse en una tobera; la reacción o empuje de dichos gases es la fuerza que propulsa el motor hacia delante. La diferencia respecto al reactor consiste en que el estatorreactor comprime el aire necesario para la combustión sin necesidad de un compresor.

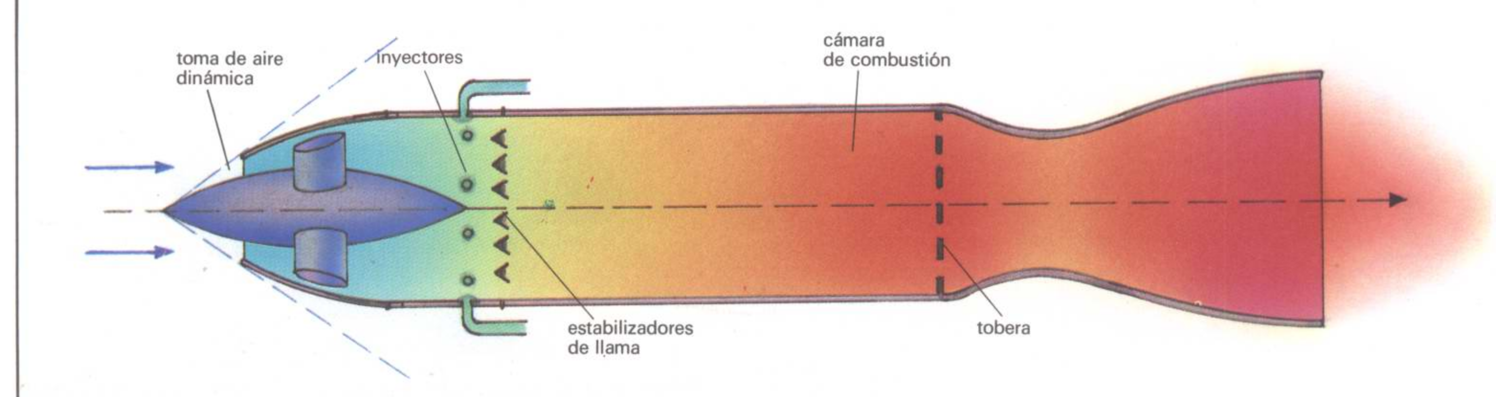
En el estatorreactor la aspiración del aire se realiza a través de un conducto cuya sección va aumentando de forma tal que produce una reducción de energía cinética (la velocidad en el interior del conducto disminuye) y, consecuentemente, según la conocida fórmula de Bernouilli, una compresión de la corriente de aire. Cuando el combustible es inyectado en forma finamente atomizada en la cámara de combustión y se combina con el oxígeno contenido en el aire comprimido, se produce la combustión de forma continua, por el efecto de una chispa.

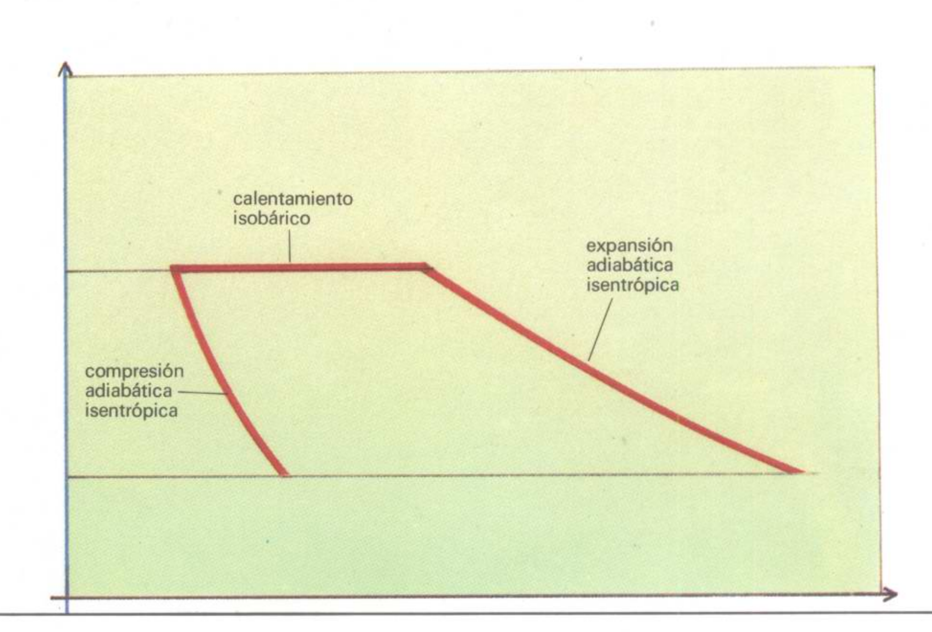
Cuanto mayor sea la presión del aire, mayor será la cantidad de oxígeno disponible para la combustión y, consecuentemente, mayores podrán ser la velocidad y la altura de vuelo alcanzables. El aumento de la velocidad de vuelo produce, a su vez, una mayor compresión y aporta de esa forma una cantidad de oxígeno disponible aún mayor. Aunque no se alcanza, como podría parecer, el motor perpetuo, en cierto sentido se está cerca de unas condiciones de ese tipo.

Lógicamente, el estatorreactor tiene limitaciones. Al aumentar la altura de vuelo, sería posible en teoría alcanzar velocidades muy elevadas, del orden de *mach 8* o incluso más, pero una de las limitaciones de funcionamiento consiste en que a una velocidad de aproximadamente *mach 4*, el aumento de temperatura producido por rozamiento aerodinámico da lugar a la disociación de los gases de combustión; la combustión es incompleta y la cantidad de oxígeno introducida en la cámara de combustión es tan elevada que termina por apagar o detener la propia combustión.

Otra grave limitación en el empleo del estatorreactor está constituida por la imposibilidad de funcionamiento a velocidad nula: en efecto, el estatorreactor es incapaz, por sí solo, de iniciar el movimiento, ya que para que haya compresión es necesario que el motor tenga una velocidad de avance bastante elevada. Ello impone la necesaria utilización de otro tipo de motor para permitir al estatorreactor alcanzar la velocidad mínima de funcionamiento.

Existe también una variante del estatorreactor, el de cámara supersónica, concebido especialmente para vuelos a velocidades superiores a *mach 6*. La diferencia entre este tipo de estatorreactor y el convencional consiste en el diseño de la toma de aire, que en este caso está modelada para mantener un flujo supersónico y rea-



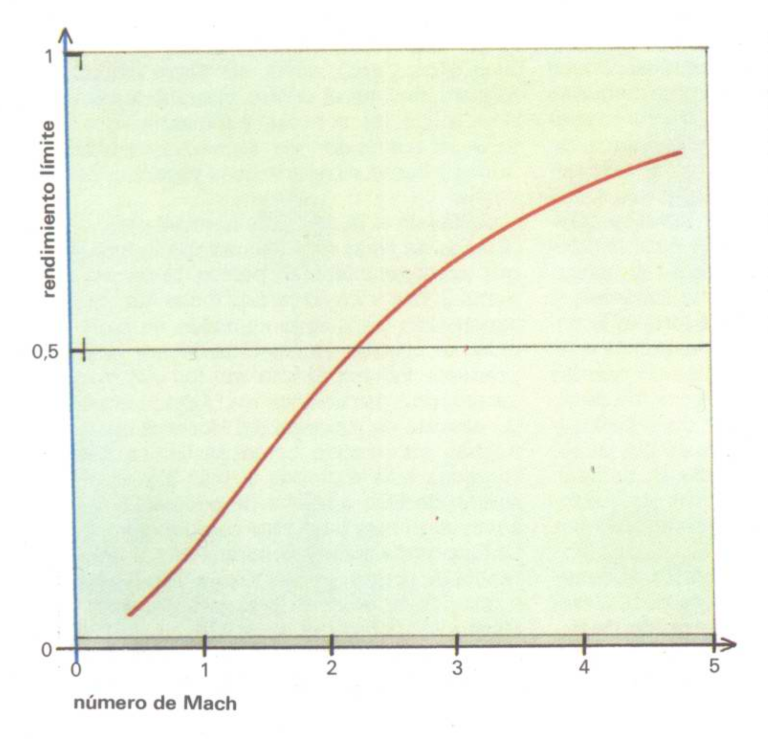


Arriba, sección longitudinal esquemática de un estatorreactor. De izquierda a derecha, se muestra: *toma de aire dinámica,* cuya función consiste en transformar la energía cinética del flujo de aire que penetra en el motor en energía de presión; *inyectores,* cuya función es hacer pasar al motor el combustible; *estabilizadores de llama*; *cámara de combustión* y, finalmente, la *tobera,* que sirve para lanzar el chorro de gases de combustión al ambiente exterior con las adecuadas condiciones de presión y velocidad. Junto a estas líneas, un diagrama presión-volumen del ciclo termodinámico del estatorreactor.

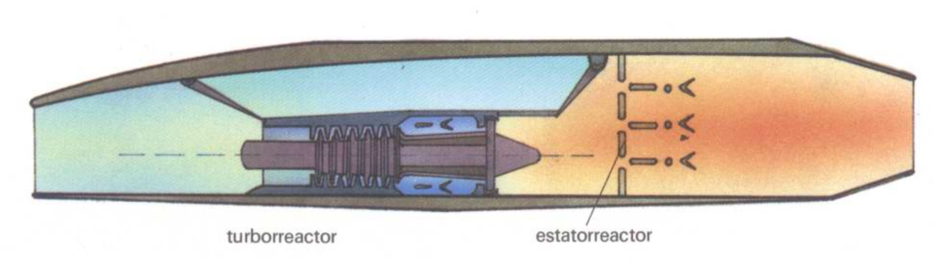
lizar la combustión a velocidades supersónicas, mientras que en el estatorreactor convencional la velocidad en la cámara de combustión es subsónica.

Los combustibles empleados son, en este caso, hidrógeno o hidrocarburos, y el empuje específico (por unidad de tiempo y por unidad de masa de combustible) que se desarrolla es muy superior al que se puede obtener incluso con los mejores cohetes de combustible químico. La temperatura ya no es (como ocurría para el estatorreactor convencional) el factor determinante en el proceso de combustión, que en este modelo depende exclusivamente de la velocidad con que se realiza la mezcla del combustible y el oxígeno. Teóricamente es posible alcanzar velocidades superiores a *mach 20;* ello explica, su aplicación a la propulsión de misiles y de vehículos tales que pueden ser puestos en órbita.

Véase **Avión; Avión a reacción, motor de; Avión, motor; Avión, proyecto de; Motor de combustión interna; Turbina de gas**



Junto a estas líneas, curva del rendimiento límite del ciclo ideal de un estatorreactor en función de la velocidad asintótica de la corriente de aire. Examinando la curva puede observarse que el rendimiento aumenta al aumentar la velocidad de vuelo y esto justifica el empleo del estatorreactor a velocidades supersónicas. Abajo, en el centro, esquema de sistemas turboestatorreactor, resultado de la simbiosis de un turborreactor introducido en el conducto de un estatorreactor. En el esquema de la izquierda, disposición modificable; en el de la derecha, disposición fija. Abajo, esquema del avión francés *Nord Griffon 02*, con este sistema propulsor.



turborreactor estatorreactor

Estepa y tundra

Uno de los más extensos y abiertos paisajes de la Tierra es el constituido por las estepas, vastas superficies planas o ligeramente onduladas cubiertas de vegetación baja.

La tundra, tierra sin árboles de la región ártica, aparece ocupada por una formación vegetal también baja adaptada al clima polar.

Definición de estepa Las estepas, en general, son vastas superficies de topografía llana o levemente ondulada en zonas semiáridas, donde se desarrollan sobre todo plantas herbáceas bajas. Las praderas, que se parecen mucho a las estepas, se encuentran en zonas más húmedas y se diferencian de ellas en que la vegetación primaria está compuesta por plantas herbáceas más desarrolladas en altura. La estepa es típica de regiones relativamente secas, con inviernos largos y fríos, y de las zonas marginales de los desiertos y de las sabanas.

Las estepas rusas se extienden en una amplia zona al Este de Rumanía a través de Volgogrado, y desde allí a lo largo del paralelo 50º hasta Mongolia y Manchuria. Hay otra pequeña zona de estepa cerca de Mukden (Shenyang), en China.

Plantas y animales de la estepa La vegetación se caracteriza por distintas especies herbáceas. La vegetación de estas estepas está formada por gramíneas, cuyos bulbos, rizomas o tubérculos se mantienen durante varias años. Su aparato aéreo suele constituir una formación continua de hierbas unidas. Entre las plantas más comunes se encuentran el iris, el tulipán, el jacinto, etc. Se pueden ver también girasoles, anémonas y salvia. En Asia, la estepa a menudo se hace boscosa al ascender en latitud. Hacia el Sur, la fisonomía y las especies vegetales que forman la estepa, en gran parte, se asemejan más a las formaciones desérticas. Antes de que las estepas fueran aprovechadas como pastizales, constituían el hábitat de caballos y otros animales salvajes. Hoy en día, las regiones más extensas y secas se dedican a la cría de ganado y algunas de las zonas más húmedas al cultivo de cereales, especialmente trigo.

Las praderas de Norteamérica, que presentan una cubierta herbácea poco desarrollada, muestran un cierto grado de semejanza con las estepas rusas. La zona comprendida entre el Missouri y Minnesota es el dominio de la pradera auténtica, cubierta por gramíneas altas, mientras que al Oeste, las altas llanuras, más áridas, aparecen pobladas por una vegetación de gramíneas cortas (hierba de los búfalos, *blue grama*, etc.), salvia, etc. Entre ambas formaciones, en el centro, aparece la pradera mixta. Hacia el Sur y Suroeste la estepa se confunde con formaciones más áridas y hacen su aparición la yuca y otros cactus.

Antes de la llegada del hombre blanco, la fauna de estas regiones estaba formada por antílopes, bisontes, perros de las praderas, lobos y coyotes. Los lobos han desaparecido, pero otros animales, en particular el coyote, vagan todavía por esas praderas. Pájaros típicos son los cuervos, las alondras, las urracas, etc. Actualmente, las estepas de América del Norte se aprovechan sobre todo como pastizales. Las regiones más extensas y más áridas se suelen dedicar a la cría de ovinos. En las zonas algo más húmedas se cultiva trigo. La topografía suele ser ondulada y, a diferencia de la gran estepa rusa, a veces esta formación aparece flanqueada por montañas.

Definición de tundra Las vastas llanuras sin árboles de las regiones nórdicas reciben el nombre de tundra y aparecen

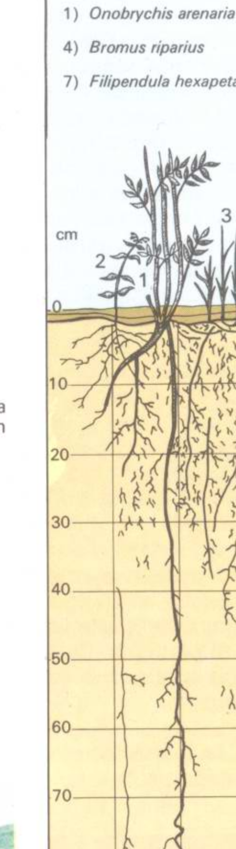


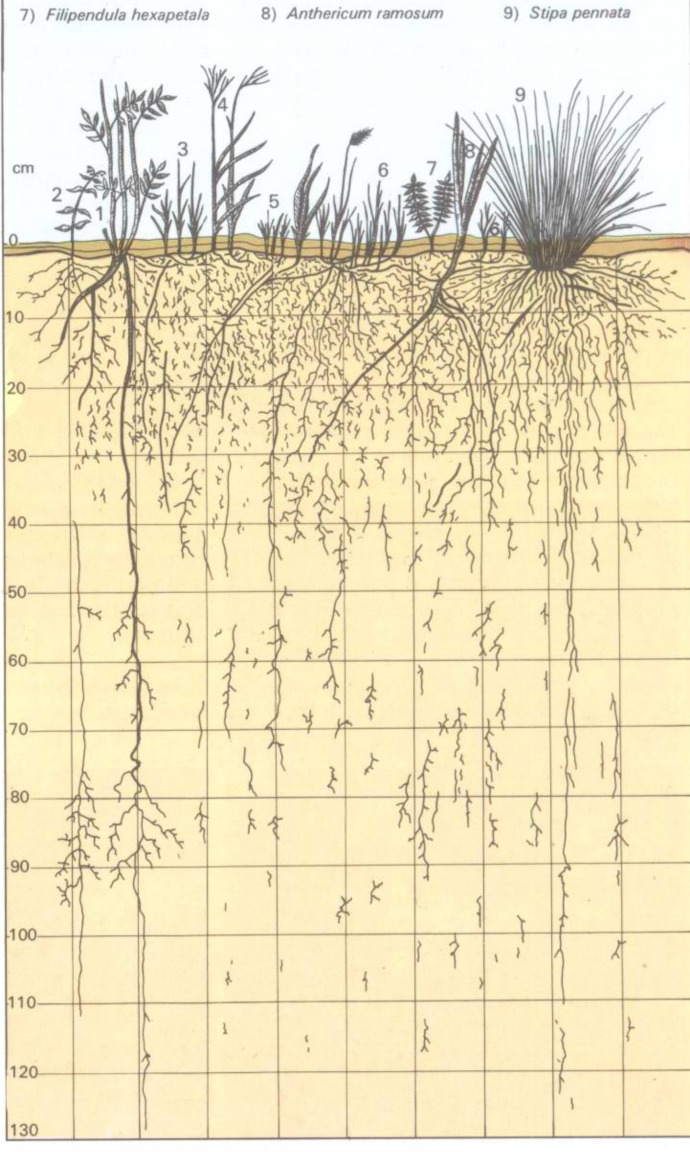
ocupadas por una formación vegetal baja adaptada a los rigores del clima polar. Se encuentra a lo largo de las costas septentrionales de Alaska, Canadá, Unión Soviética y en la mayor parte de las islas árticas. En la Antártida la tundra apenas está representada.

La tundra está formada principalmente por musgos, líquenes, plantas herbáceas (*carex*, juncos, etc.), plantas leñosas de unos pocos centímetros de altura y por arbustos bajos y ralos, que sólo de forma muy excepcional alcanzan un par de metros (rododendros, sauces enanos, abedules enanos). Esta vegetación, aparentemente monótona, alcanza una gran diversidad de detalle, en función de las condiciones locales. También es frecuente que las manchas de tundra verdadera alternen con turberas y con áreas de roca desnuda (*barren grounds* canadienses).

Hacia el Sur, la tundra suele dar paso al bosque boreal, a veces mediante una formación de transición denominada *tundra arboleda*. Hacia el Norte, la tundra se empobrece poco a poco hasta llegar al Océano Glaciar Artico.

La ausencia de vegetación arbórea y el aspecto general de la tundra responden a unas condiciones climáticas y edáficas


La estructura subterránea de un ecosistema de estepa es bastante simple. A la derecha, esquema de los rizomas y raíces. La masa principal de raíces se encuentra a una profundidad de 0 a 20 cm, mientras que hacia abajo la densidad disminuye. Ello se debe al hecho de que sólo las capas más superficiales conservan la humedad suficiente para posibilitar la vida de la planta. En las estepas de Europa central, y sobre todo de Asia (fotografía bajo estas líneas), viven todavía numerosos caballos salvajes en completa libertad. Su captura y domesticación constituyen un recurso económico para las poblaciones nómadas, que comercian con esos animales. En la página anterior, un paisaje de tundra: musgos y líquenes, y una manada de caribús.





durísimas: los inviernos son largos, y en el verano, que apenas dura un par de meses, la temperatura media es siempre inferior a 10 °C. Las plantas aprovechan este corto período en el que la iluminación es intensa y prolongada para completar su ciclo vegetativo.

El suelo es esquelético e incluso inexistente en algunas zonas, ya que el mantillo, ya de por sí escaso, no llega a descomponerse por las bajas temperaturas. Por otro lado, el *permafrost* aparece a una escasa profundidad, porque sólo se deshiela durante el corto período veraniego la capa más superficial del suelo.

El viento es otro de los problemas en la tundra, ya que a menudo activa la evapotranspiración en un momento en que todavía no se ha deshelado la capa superficial del suelo y las plantas no pueden obtener el agua que necesitan. Las precipitaciones son muy escasas y generalmente caen en forma de nieve.

La tundra aparece también en las regiones montañosas a altitudes poco mayores que las propias de los bosques: es la denominada *tundra de montaña*, casi idéntica a la tundra ártica en especies vegetales e incluso a veces también en especies animales. La mayor tundra de montaña del mundo está en el Tibet.

Plantas y animales de la tundra Durante una buena parte del verano, el sol permanece en el horizonte muchas horas al día, e incluso toda la noche. Aunque la temperatura es baja en cualquier época, a menudo se da el calor suficiente para que puedan vivir una gran cantidad de flores. Erica, sauces enanos, musgo, diversas bayas —como las amapolas árticas—, campánulas, saxifragas, violetas y muchas otras plantas crecen en distintas zonas de la tundra. Mientras tiene lugar el deshielo y los pequeños lagos se ven libres del hielo y sube la temperatura, aparecen enormes enjambres de mosquitos, haciendo la vida difícil tanto a los hombres como a los animales. Los mosquitos del género *Culex* frecuentemente forman grandes nubes, claramente visibles. Sin embargo, estos insectos juegan un papel importante: constituyen el principal alimento de las bandadas de pájaros que han emigrado desde el Sur y que anidan en la tundra. Los ríos y los lagos aparecen poblados de peces. Durante el verano, la tundra está bastante poblada: entre los mamíferos destacan el oso polar (en las proximidades del mar) rebaños de caribús, algunos lobos, zorros y bueyes almizoleros, etc. Las liebres árticas (*Lepus timidus artica*) y los armiños recorren toda la zona. En invierno algunos de esos animales (aves, caribús, etc.) emigran hacia el Sur, pero otros como las liebres, los lobos y los zorros, permanecen en la tundra.

Véase **Pradera; Vegetación, atlas**

Estereofonía

La intensidad y la altura de un sonido son magnitudes temporales, es decir, existen únicamente como variación de una determinada característica en el tiempo. Sin embargo, se intentan distribuir espacialmente para poder obtener una reproducción "real" del sonido, lo más parecida posible al sonido que se escucharía en una interpretación "en vivo".

Con la audición están relacionados varios factores, especialmente unidos con aspectos psicológicos que influyen en las valoraciones del oyente sobre el campo sonoro.

En general, la intensidad del sonido es el parámetro que condiciona en mayor medida la valoración de la distancia entre el punto de escucha y el punto donde se sitúe la fuente sonora.

En el análisis de las condiciones de percepción sonora se tienen en cuenta factores como las experiencias de escucha precedentes y la costumbre de recibir determinados estímulos sonoros.

La capacidad del oído humano para distinguir la estructura espacial del sonido (y especialmente la percepción de profundidad) depende tanto de la directividad del oído como de las relaciones de intensidad entre sonido directo (que llega directamente al oído) y sonido reflejado (en las paredes del recinto).

La reproducción fiel de un sonido exige la utilización de, por lo menos, dos micrófonos: uno para obtener la información de espacio y el otro para la dirección. La reproducción estereofónica consiste en la grabación y reproducción de este tipo de información.

El principio fundamental de la estereofonía es muy simple. Los dos micrófonos captan las ondas sonoras y las transforman en señales eléctricas, que se graban en un magnetofón de, por lo menos, dos pistas magnéticas. Para reproducirla, esta señal estereofónica se aplica, después de amplificarla, a una pareja de altavoces o a unos auriculares.

La técnica de la estereofonía El sistema estereofónico que se ha consolidado en todo el mundo es el de dos canales. Estos canales reciben el nombre convencional de *canal A* (izquierdo) y *canal B* (derecho). Durante una audición estereofónica normal se pueden producir varias combinaciones de las señales A y B. Si el sonido de ambos está completamente separado, el oyente los localiza en los dos puntos respectivos de emisión. Si las señales son similares y los altavoces las reproducen con la misma intensidad, la posición de la fuente parece estar en el centro de la zona de escucha. Si existen diferencias de volumen entre los dos canales, puede apreciarse un desplazamiento del sonido en la dirección donde la reproducción es más fuerte. Como último caso, las señales A y B pueden no estar completamente separadas, con lo que la imagen acústica aparece en dos puntos del plano que une los dos altavoces, cuya posición depende de la relación de volumen entre las dos señales.

No todas las zonas del recinto de escucha permiten la mejor audición estereofónica. La zona óptima de audición tiene como límite dos arcos de circunferencia que partiendo de la zona central entre los dos altavoces concluye en la pared opuesta.

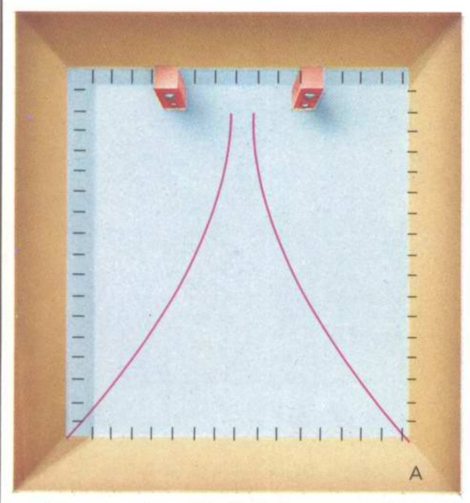
La grabación estereofónica En la grabación profesional se utilizan muchos micrófonos, colocando uno, o incluso más de uno, por cada instrumento que suena en la sala, con el fin de captar el sonido de cada instrumento por separado.

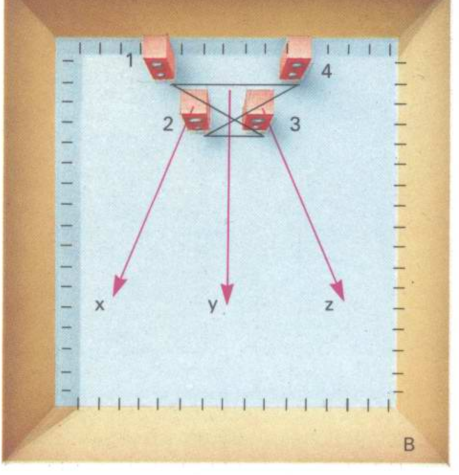
Las señales captadas se graban en pistas diferenciadas (una por cada micrófono) de una cinta magnética para mezclarlas después en una mesa de mezclas, lo que permite obtener a su salida las dos señales de los canales estereofónicos.

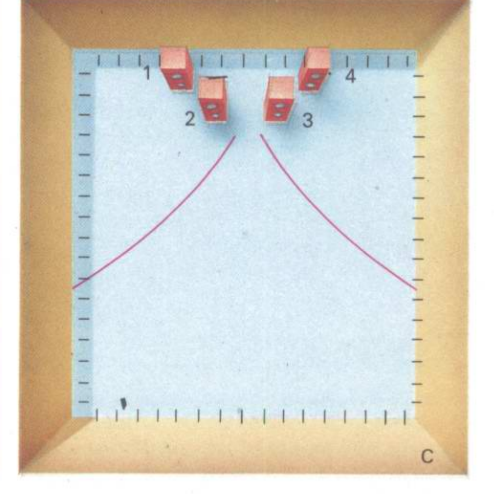
Durante estas fases de la grabación es fundamental la labor del ingeniero de sonido, que, manejando los sistemas electrónicos, procesa y adapta las informaciones sonoras que captan los micrófonos. Por ejemplo, puede fundir sonidos procedentes de micrófonos distintos o hacer que un instrumento destaque más que otro regulando su volumen. También puede resaltar o atenuar bandas del espectro sonoro de cada uno de los instrumentos.

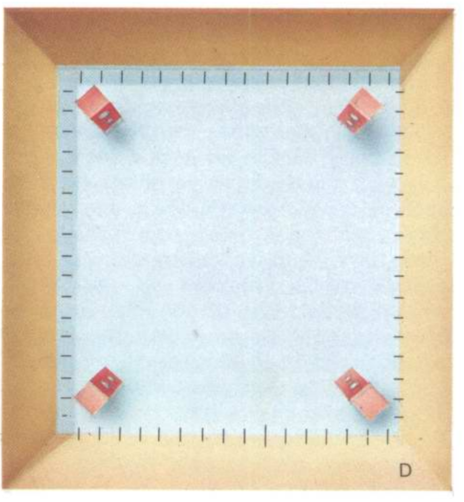
Sin embargo, el principal problema por resolver es la obtención del balance adecuado entre los distintos sonidos captados y entre sonido directo y reflejado.

La utilización de dos canales facilita la solución del problema expuesto. Este procedimiento se puede identificar con el funcionamiento fisiológico del oído humano. Si se envían los sonidos de algunos instrumentos al canal izquierdo, otros al canal derecho y las voces solistas al centro

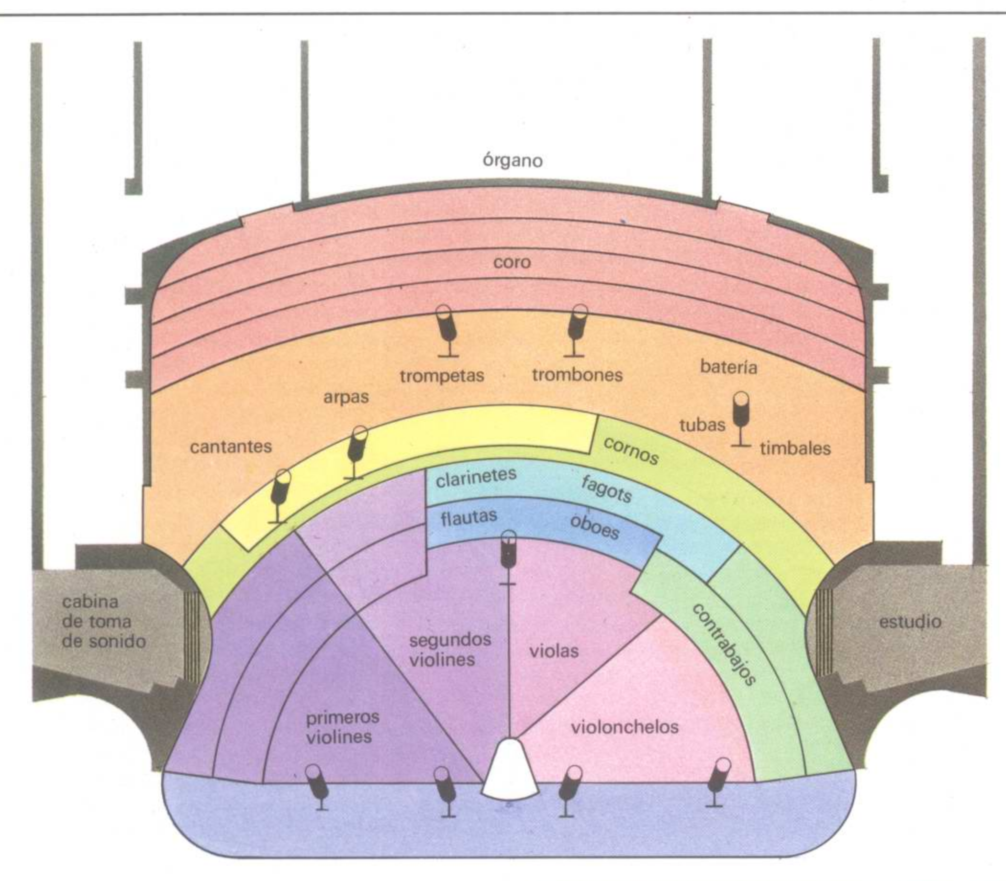








Las características del local de audición, así como la colocación de las cajas acústicas, tienen una importancia fundamental para conseguir una audición estereofónica correcta. Los esquemas de esta página reproducen las zonas óptimas de audición dependiendo del número y posición de las cajas acústicas. A es el caso de dos cajas. En B, con cuatro cajas consideradas como dos parejas, tenemos que: *x* es la posición de la zona óptima para las cajas 1 y 3; *y* la posición de la zona óptima para las cajas 2 y 3; *z* es, la situación de la zona óptima respecto de las cajas 3 y 4. En C se puede ver la zona óptima formada por el conjunto de las cuatro cajas acústicas consideradas en B. En la cuadrafonía, D, las zonas óptimas varían dependiendo de la posición del oyente. En las ilustraciones de la página siguiente: arriba, disposición de los instrumentos de una orquesta sinfónica para la toma de sonido estereofónico; abajo, aparatos de que consta un moderno equipo de reproducción estereofónica de alta fidelidad.



sado en los sistemas de percepción directa del sonido a través del pabellón auditivo y el cerebro como base de un posible nuevo sistema. En relación con esto, aparece en enero de 1983 —como patente de aplicación europea— un sistema de grabación denominado *holofonía,* que, según palabras de su inventor Hugo Zuccarelli, quiere ser el equivalente en audio de la holografía, y consiste en una codificación especial a través de una cabeza artificial capaz de grabar o transmitir directamente sonidos estereofónicos con una auténtica dimensión espacial.

La estereofonía convencional o cualquier sistema binaural ofrece información tan sólo en el plano horizontal. Sin embargo, el sistema holofónico pretende recrear las dimensiones originales (tiempo, anchura, profundidad y *altura*) de la imagen sonora en el espacio que envuelve al oyente. Muchos músicos modernos han experimentado ya el nuevo sistema con buenos resultados, entre ellos está el grupo Pink Floyd de música *rock* que lo incorpora en su disco *Final cut.* ¿Habrá llegado por fin la era del sonido total?

Véase **Acústica; Alta fidelidad; Micrófono; Sonido**

de la distribución estereofónica, se obtendrá una imagen sonora de transparencia y definición adecuadas. Si además la presencia de los sonidos es buena y los altavoces consiguen restituir el sonido de la mejor forma posible, se puede obtener también una distribución eficaz de la profundidad y una reproducción espacial del sonido, localizando la zona de escucha a la derecha, a la izquierda o en el centro de los altavoces. Naturalmente todo esto no es posible cuando se utiliza un único canal, es decir, con la técnica de grabación llamada *monofónica*.

Por otro lado, hay que tener presente que una buena reproducción estereofónica requiere siempre un volumen no demasiado pequeño, puesto que la dinámica queda menguada cuando los pasajes *pianos* de la música quedan sumergidos en el nivel de los ruidos del ambiente.

Hacia el sonido total La estereofonía con dos canales, a pesar de producir sensaciones mucho más reales que la monofonía, no satisface completamente a los audiófilos más exigentes porque permite situar los sonidos reproducidos únicamente en la línea de unión de los dos altavoces.

Un intento de mejora, que ha tenido poca aceptación, ha sido la adición de otros dos canales. Este sistema, llamado *cuadrafonía*, permite localizar bidimensionalmente el sonido reproducido dentro del perímetro formado por cuatro altavoces.

Con posterioridad a la aplicación de la estereofonía y la cuadrafonía, se ha pen-



Estereoquímica

Todas las moléculas están constituidas por átomos, o grupos de átomos, unidos entre sí en estructuras espaciales características de cada sustancia. Según el compuesto de que se trate, la molécula puede tener el aspecto de una cadena (como ocurre en una molécula de jabón), de una espiral (como en la molécula de ADN) u otras formas.

En la química del carbono se presenta con frecuencia el fenómeno de la *estereoisomería*. Existen sustancias que, poseyendo moléculas formadas por igual número, especie y disposición secuencial de los átomos, se diferencian por la estructura y orientación en el espacio de las partes que las constituyen. Y aunque la composición química de sus moléculas es la misma, la distinta disposición y orientación en el espacio de los átomos o grupos atómicos acarrean consecuencias de gran importancia concernientes a la actividad química: variación en la velocidad de reacción e incluso posibilidad de que se realice o no dicha reacción.

La estereoisomería es solamente uno de los tipos de *isomería*. En general, son *isómeros* aquellos compuestos químicos que, poseyendo la misma composición y la misma masa molecular, difieren en la estructura y a veces en la funcionalidad de sus moléculas. Las causas que hacen posible la isomería son diversas. La estereoisomería o isomería del espacio es debida, según se ha dicho anteriormente, a la distinta disposición y orientación en el espacio de los átomos o grupos atómicos que forman la molécula.

TIPOS DE ESTEREOISOMERIA

ISOMERIA OPTICA: Presencia de un átomo de carbono C asimétrico (ligado a cuatro grupos distintos). Configuración estérica. Estructura especular de los isómeros (enantiomorfos)

forma D — forma L

Actividad óptica: rotación del plano de la luz polarizada en sentido opuesto

forma óptica activa: dextrógira (+)
levógira (−)

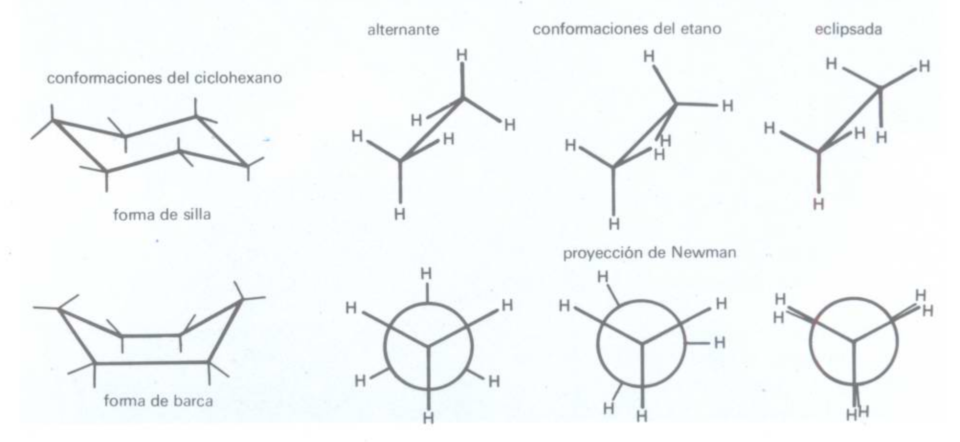
forma inactiva: racémica

ISOMERIA GEOMETRICA: A los carbonos unidos en un doble enlace se les unen sustituyentes diversos

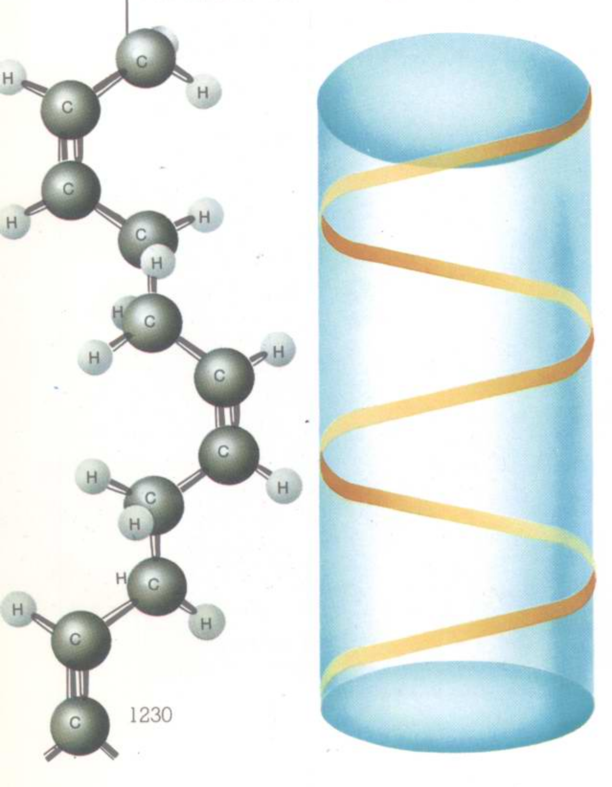
Forma *cis* — Los grupos iguales están al mismo lado respecto a un plano que pasa por el doble enlace.

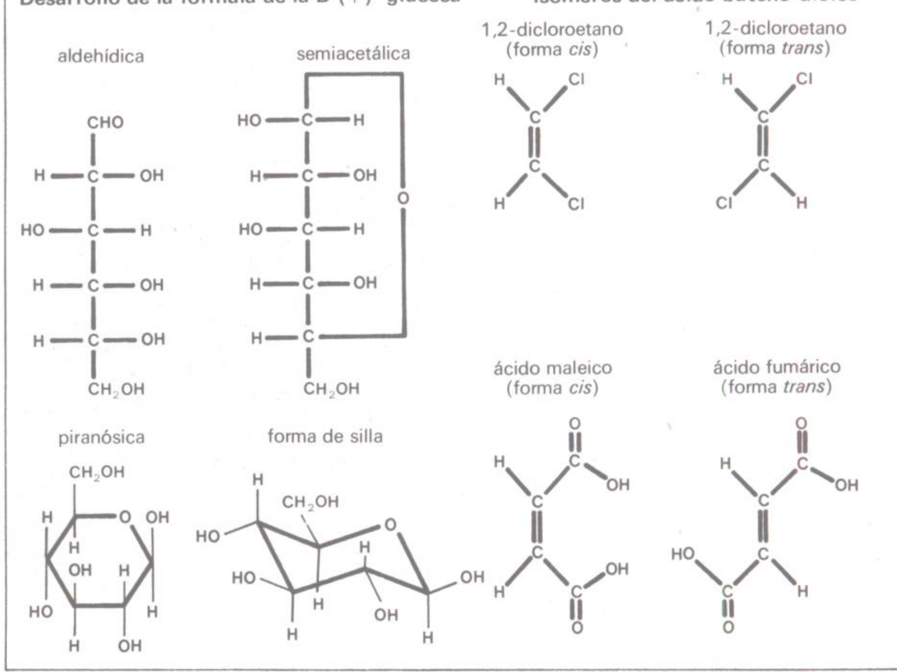
Forma *trans* — Los grupos iguales están a distinto lado del plano que pasa por el doble enlace.

ISOMERIA DE CONFORMACION: Los sustituyentes de los carbonos libres de rotar alrededor de un enlace simple pueden tener varias disposiciones en el espacio (conformaciones).



Las dos cadenas representadas abajo constituyen un ejemplo de cómo se desarrollan los átomos en el espacio en polímeros naturales y de síntesis. A la izquierda está representada en forma completa, con todos sus átomos y enlaces, la estructura del 1,4-cis-polibutadieno, goma sintética similar a la natural: su isómero, el 1,4-trans-, por el contrario, no es elástico. A su derecha, una representación donde se pone de manifiesto la forma de la molécula de la proteína fibrosa de queratina. El recuadro bajo estas líneas resume los tipos de estereoisomería. De éstos se han deducido las teorías que han permitido la síntesis *estereoespecífica* del polipropileno y de otras sustancias importantes. A la izquierda, como ejemplo de isomería óptica, aparece desde la primera fórmula de la glucosa desarrollada por Fischer, hasta la moderna representación de la glucopiranosa; a la derecha, isómeros del ácido buteno-dioico, con isomería geométrica o *cis-trans*; presentan esta isomería sustancias que poseen un doble enlace entre dos carbonos.





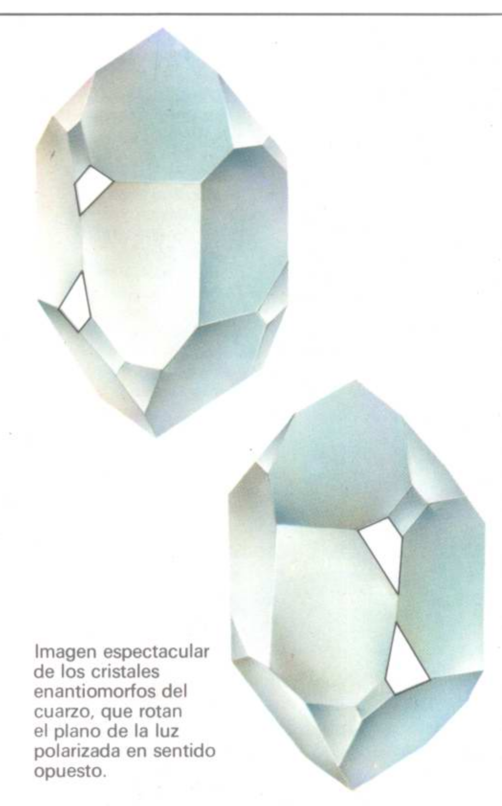


Imagen espectacular de los cristales enantiomorfos del cuarzo, que rotan el plano de la luz polarizada en sentido opuesto.

Hay dos tipos de estereoisomería: la *geométrica*, o *cis-trans*, y la *óptica*. La primera se presenta en ciertas moléculas con doble enlace o como resultado necesario de una conformación de la estructura molecular para evitar tensiones en las cadenas cíclicas. Tal es el caso del ciclohexano, donde se presentan dos formas: la de barca o bañera (*cis*) y la de silla (*trans*). En la isomería geométrica con doble enlace, dos átomos o grupos atómicos iguales situados en los distintos átomos de carbono que forman el doble enlace están al mismo lado (*cis*) o a distinto (*trans*) de un plano que pasa por el doble enlace. Estas dos formas no son convertibles mutuamente, porque el doble enlace no permite el giro de la molécula, pudiéndose presentar por tanto las dos formas isómeras.

La *isomería óptica* la presentan las moléculas que llevan átomos de carbono asimétrico, es decir, cuando sus cuatro valencias están saturadas por átomos o grupos atómicos diferentes. Este hecho se da con cierta frecuencia en la química del carbono, e incluso de forma repetida en varios átomos de carbono, pudiéndose originar más de dos isómeros por cada molécula. Estructuralmente un isómero lo es respecto de otro si las dos estructuras son simétricas respecto a un plano de simetría; son una respecto de la otra como el objeto a la imagen en un espejo plano o como el guante de la mano derecha al de la izquierda. Ambas formas se denominan *enantiomorfas*. Los isómeros ópticos poseen muchas propiedades físicas y químicas comunes, pero la asimetría molecular hace que roten (o giren) el plano de polarización de la luz polarizada en distinto sentido: uno hacia la derecha (*dextrógiro*) y otro a la izquierda (*levógiro*).

La rama de la Química que estudia la estereoisomería recibe el nombre de *Estereoquímica*, que en el siglo XIX influyó decisivamente en el estudio de la estructura de las sustancias orgánicas.

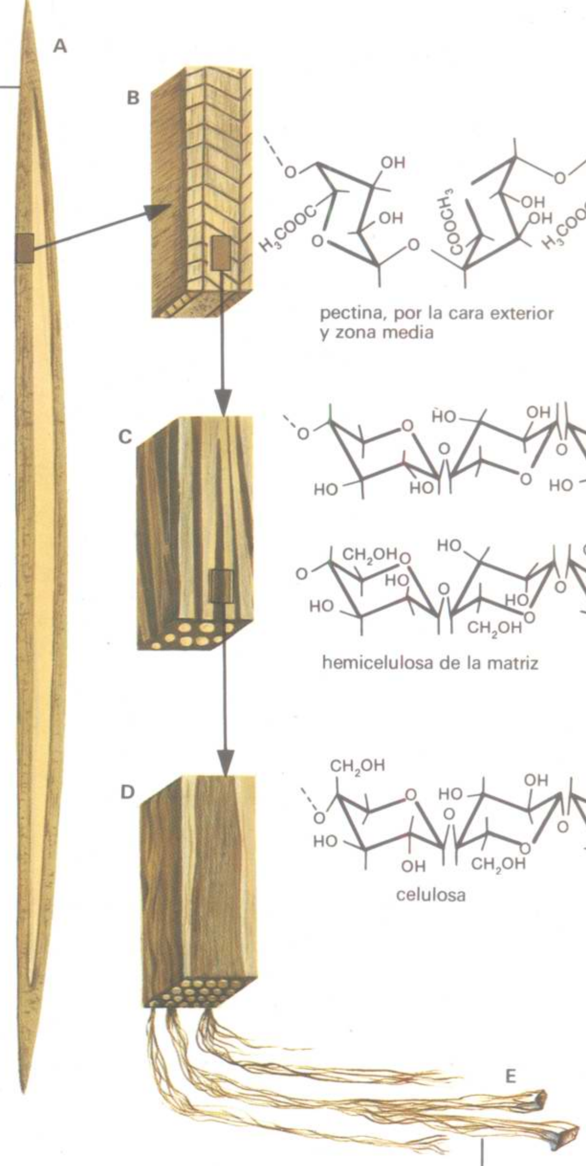
Descubrimiento de la Estereoquímica
En 1808, E. L. Malus descubre que la luz monocromática transmitida por un cristal de espato de Islandia, variedad de calcita ($CaCO_3$), se propaga en un solo plano. Esta luz se dice, desde entonces, que está polarizada.

Los trabajos de Malus, muerto prematuramente a los 37 años, fueron continuados por sus compatriotas, los franceses D. F. Arago y J. B. Biot y por el mineralogista alemán R. J. Haüy. Pronto se observó que dos variedades hemiédricas de cuarzo rotabah el plano de polarización de la luz polarizada, una a la derecha y otra a la izquierda.

Pero Biot realizó un descubrimiento más importante en 1815 al comprobar que diversas sustancias orgánicas, fundidas o disueltas, presentaban actividad óptica, es decir, desviaban el plano de la luz polarizada. Una de las sustancias que posee esta propiedad es el ácido tartárico, obtenido como residuo en la industria del vino. Biot encontró una forma ópticamente activa y, posteriormente, en 1831, Berzelius encontró otra "variedad", que fue llamada *ácido racémico* y que poseía la misma fórmula del ácido tartárico normal. Entre los años 1844 y 1848 el joven químico francés Louis Pasteur comprobó que la sal sódico-amónica del llamado ácido racémico presentaba cristales de dos formas hemiédricas. Con la paciencia y tenacidad tan características de Pasteur y provisto de un pelo de vaca fue separando en el portaobjetos del microscopio las dos formas hemiédricas, hasta que tuvo la suficiente cantidad para preparar sendas disoluciones en las que apreció actividad óptica: una forma desviaba el plano de polarización hacia la derecha, como la que observó Biot, y la otra en sentido contrario. Pasteur comunicó a Biot los resultados y ambos, reproducida de nuevo la experiencia, presentaron a la Academia de Ciencias el trascendental descubrimiento.

Estos resultados experimentales condujeron a los químicos a plantear hipótesis que diesen una explicación a los mismos y, aunque por aquel entonces no se conocían las fórmulas estructurales de las moléculas, Pasteur tuvo la genial intuición de atribuir el fenómeno al distinto ordenamiento de los átomos en las moléculas.

Pero fueron dos químicos, Le Bel (francés) y Van't Hoff (holandés), quienes, casi al mismo tiempo, en torno a 1874, perfilaron una hipótesis basada en el concepto de carbono asimétrico, expuesto anteriormente. J. H. Van't Hoff utilizó para sus fórmulas estructurales el tetraedro. En el centro se supone situado el carbono, y los átomos o grupos atómicos que saturan sus valencias, en los cuatro vértices. Modernamente se utilizan modelos moleculares con esferas de distinto diámetro, que representan los átomos, y con palillos de longitud apropiada, que representan los enlaces.



Ejemplo ilustrado mediante una fibra leñosa (A) para dar idea de la estructura espacial en la Naturaleza. La fibra leñosa tiene una estructura de paredes celulares (B) estratificadas, donde la celulosa (clara) está incluida en una matriz (oscura) de otros polisacáridos y lignina (C). En dicha inclusión, que aparece más grande en (D), los depósitos de celulosa están formados por microfibrillas (claras), constituidas por haces de moléculas de celulosa cristalina, empacadas en la forma que se ve en (E).

La Estereoquímica óptica tiene gran importancia en Bioquímica, ya que la actuación de los organismos vivientes y de los enzimas es distinta según el tipo de isómero óptico. Precisamente, la separación de ciertas formas enantiomorfas se realiza a veces teniendo en cuenta la actuación selectiva de los enzimas.

La moderna Biología molecular, que tiene mucho que ver cor. esa actuación específica de enzimas y fermentos, tuvo en el siglo XIX antecesores muy valiosos, que crearon las bases de su posterior y espectacular desarrollo.

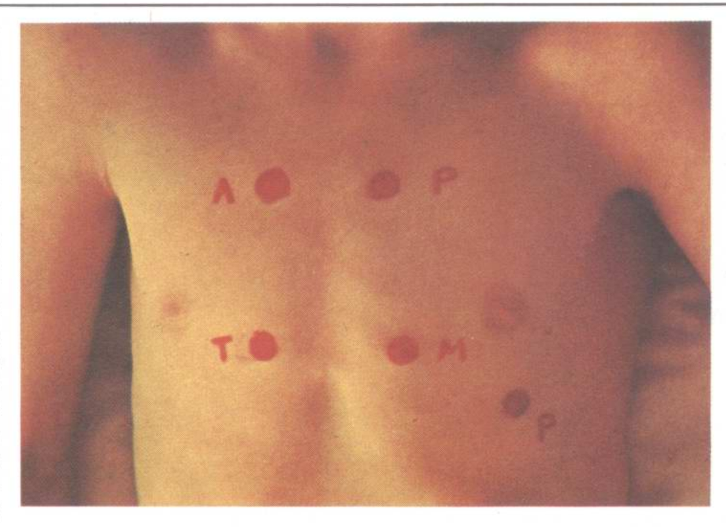
Véase **Carbono; Cristales y cristalografía; Luz polarizada; Molécula; Química orgánica**

Estetoscopio

El nombre de *estetoscopio* —instrumento que permite al médico escuchar los sonidos que se producen en el interior del cuerpo del paciente, facilitando la auscultación— deriva de las palabras griegas "pecho" y "observar". Fue inventado en 1816 por el médico francés René T. H. Laennec. Durante la visita a un paciente que padecía dolores en el pecho, el doctor Laennec, aproximando su oreja al tórax del paciente, no fue capaz de escuchar ningún sonido a causa de la obesidad del mismo. Se cuenta que un día Laennec observó a dos niños agazapados en el extremo de una larga viga de madera. Cuando un niño raspaba en uno de los extremos de la madera, el segundo niño apoyaba su oído en el otro extremo para escuchar el sonido que era transmitido. Laennec volvió inmediatamente al hospital, construyó un cono con un papel, colocó la parte más ancha del cono en el tórax de su obeso paciente y descubrió que podía percibir claramente los sonidos procedentes del interior del tórax.

Después de varios experimentos, Laennec proyectó un estetoscopio constituido por una pieza de madera hueca, de una longitud de unos 30 cm, en forma de campana por un extremo, y con una pequeña abertura en el otro extremo, que podía adaptarse a la oreja. Sin embargo, hasta 1850, con el invento del estetoscopio biauricular, el instrumento no adquirió la forma que conocemos hoy (fonendoscopio).

La invención del estetoscopio permitió a Laennec diagnosticar muchos tipos distintos de trastornos del aparato respiratorio, por lo que ha sido reconocido como



En la fotografía que aparece a la izquierda de estas líneas, se muestra —señalados con letras los diversos puntos— una proyección torácica de los principales focos de auscultación. A: foco aórtico; P: foco pulmonar; T: foco tricuspídeo; M: foco mitral; P (abajo): foco del apex. Estos puntos corresponden a las diversas zonas en las que son más evidentes los ruidos y los soplos provocados por las alteraciones cardiacas.

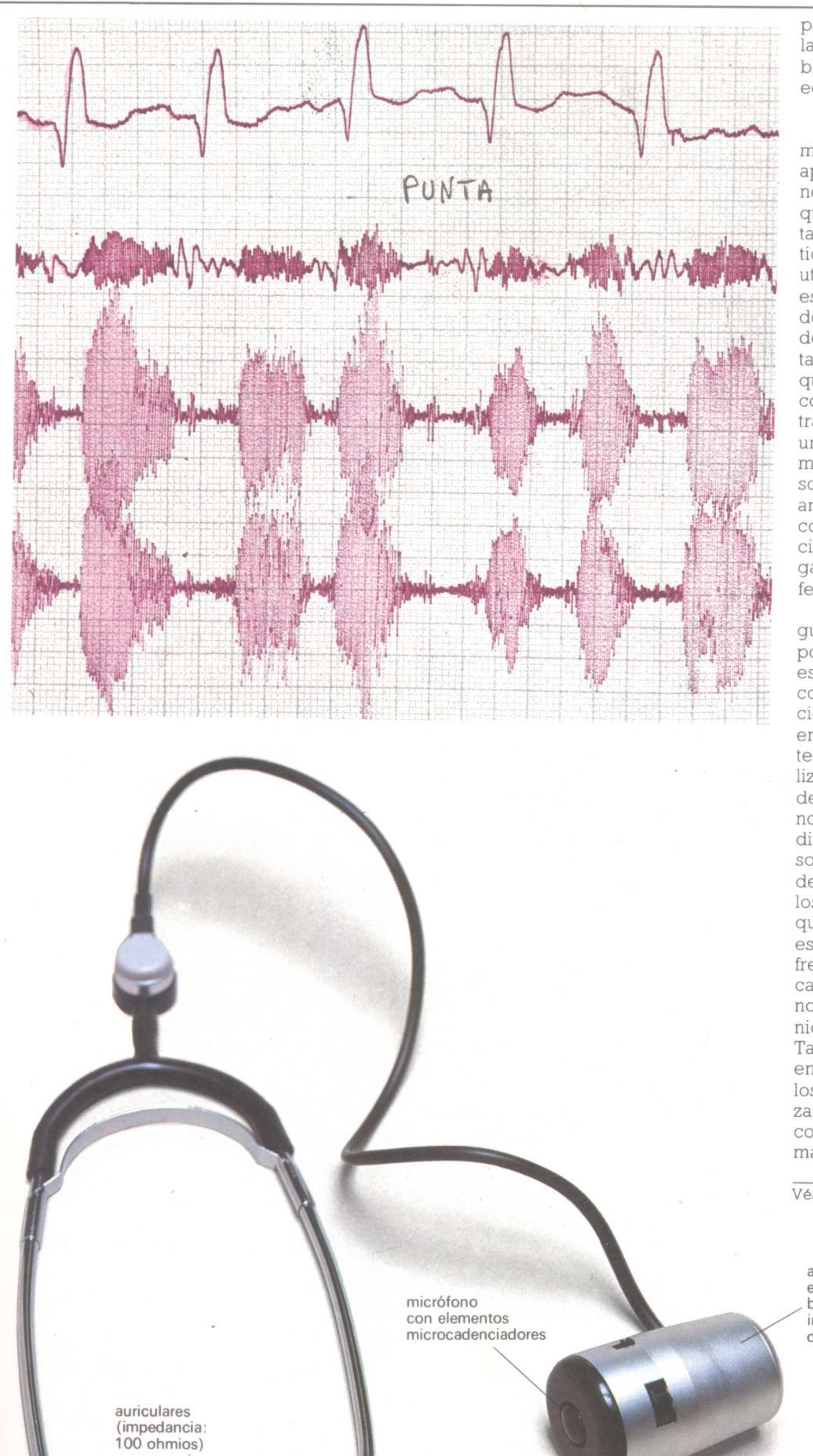
Se representan aquí algunos ejemplares antiguos de estetoscopios. Arriba, un moderno estetoscopio, instrumento dotado de una membrana muy sensible y de una caja para la amplificación de los sonidos y los ruidos, conectada mediante dos tubos de goma a los dos auriculares. A través de la auscultación puede controlarse el normal desarrollo de la actividad cíclica del corazón. El síntoma más significativo que puede apreciarse con la auscultación lo constituyen los soplos cardiacos.

padre de la medicina torácica. La ironía de la vida hizo que Laennec muriera probablemente de tuberculosis en 1826, a la edad de 45 años.

El estetoscopio moderno En 1840, el médico inglés George Philip Cammann aportó modificaciones al estetoscopio monoauricular de Laennec (llamado así porque se utilizaba un solo oído en la auscultación). Convencido de que los diagnósticos serían más seguros si se pudiesen utilizar los dos oídos, Cammann inventó el estetoscopio biauricular. Estaba constituido por dos auriculares unidos mediante dos tubos de goma al elemento de contacto con el cuerpo. Descubrió además que un cono hueco en forma de campana, comprimido ligeramente contra la piel, transmite sonidos de tonos graves, y que un delgado diafragma semirrígido, fuertemente oprimido contra la piel, transmitía sonidos agudos. Cammann, por tanto, unió ambas piezas al tubo de goma. El estetoscopio de Cammann permite la auscultación de venas, arterias, intestino y otros órganos, incluido el latido cardiaco de un feto en el interior del cuerpo materno.

En 1937, William J. Kerr añadió un segundo elemento de contacto con el cuerpo, elemento que originaba una recepción estereofónica y permitía la localización con mayor precisión de trastornos del paciente. La innovación de Kerr no tuvo sin embargo una gran difusión. Recientemente algunos médicos han comenzado a utilizar estetoscopios electrónicos, capaces de amplificar los sonidos. Estos aparatos no son utilizados habitualmente para los diagnósticos normales, excepto en los casos en los que el médico tenga problemas de audición, o bien en los casos en los que los distintos componentes de un equipo quieran escuchar simultáneamente. Los estetoscopios electrónicos se usan más frecuentemente para registrar los sonidos cardiacos y confrontarlos con el latido normal, así como para el análisis de los sonidos basándose en un registro gráfico. También se emplean con fines didácticos en las universidades. A pesar de todo ello, los médicos de nuestros días siguen utilizando en la práctica cotidiana el estetoscopio de Laennec, modificado por Cammann hace más de 140 años.

Véase **Cardiología**



Arriba, trazado fonocardiográfico de una insuficiencia mitral (soplo holosistólico de regurgitación). A la izquierda de estas líneas, moderno estetoscopio electrónico capaz de detectar la más amplia gama de frecuencias y de amplificar todos los sonidos auscultatorios (búsqueda de sonidos débiles y latidos cardiacos fetales, etc.).

Estimación estadística

Si se tiene una cierta población estadística o, en términos más abstractos, una variable aleatoria, por ejemplo la altura de los ciudadanos de un país, la renta personal de cada uno de ellos, las tiradas de un dado, etc., existen métodos teóricos y prácticos que, en general, permiten obtener la distribución de la misma. Por ejemplo: si el dado es perfecto, se sabe que la variable aleatoria se distribuye de modo que la probabilidad de los seis valores posibles es igual a 1/6. Análogamente, la distribución de las variables "altura de un ciudadano" o "renta personal" pueden obtenerse sin más que recoger todos los datos y elaborar las correspondientes tablas de frecuencias. Ahora bien: ¿qué sucede cuando no se pueden hacer todas las medidas, por razones de tiempo, coste u otro tipo de dificultades? La respuesta, intuitivamente, es sencilla: se miden las alturas o rentas de los elementos de una *muestra* suficientemente numerosa y tomada *al azar* y se admite que la población total distribuye sus alturas de modo análogo.

Otro ejemplo: supongamos que se tiene una variable aleatoria normal, es decir, tal que su función de distribución de probabilidad es

$$F(x) = \text{Prob}(\xi \leqslant x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]dx$$

pero en la que se ignora el valor de la media μ. ¿Cómo poder conocerla sin, naturalmente, tener que examinar todos los valores (infinitos) y calcularla a partir de ellos? La contestación parece igualmente simple: se toma una muestra de *n* valores $(x_1, x_2, \dots x_n)$, se calcula su media, $(1/n)\Sigma x_i$, y se considera como un valor aproximado a μ, tanto mejor cuanto mayor sea *n*.

Los anteriores ejemplos plantean de forma trivializada un problema fundamental de *inferencia estadística*: el de la *estimación*. En general se dice que se tiene planteado un problema de estimación cuando se trata de inferir características de una variable aleatoria a partir de muestras de la misma.

La solución de dichos problemas es el objeto de la Teoría de la estimación. La misma supone que se conocen las técnicas de muestreo y que se saben obtener las distribuciones de los *estadísticos* en el muestreo; es decir, que dado un cierto estadístico de una muestra (por ejemplo, la media muestreal $(1/n)\Sigma x_i$), como variable aleatoria, es posible determinar, matemáticamente, la ley de distribución correspondiente. Por ejemplo: es un resultado elemental que si una variable tiene una distribución normal de media μ y desviación típica σ, la media de las muestras de tamaño *n* es también una variable aleatoria normal de media μ y desviación $\sigma/\sqrt{n}$ (sucede también que, sea cual fuere la distribución de una variable, la media de la muestra de tamaño μ es una nueva variable de media μ y desviación $\sigma/\sqrt{n}$, pero no necesariamente distribuida con una ley del mismo tipo que la variable original).

La Teoría de la estimación tiene una historia larga; sin embargo, los resultados fundamentales de la *estimación puntual* se deben a Fisher (en los años 20 de este siglo) y los de la *estimación por intervalos* a Neyman (en los 30). Más recientemente, el Análisis Secuencial y la Teoría de la Decisión han aportado enfoques nuevos y más generales.

Cabe, por otra parte, distinguir, generalizando los ejemplos anteriores, entre problemas paramétricos y no paramétricos. Los primeros consisten en la estimación de un parámetro desconocido en la distribución de forma conocida de una variable aleatoria, por ejemplo, la media de una variable normal; los segundos en estimar características o, incluso, la propia distribución sin conocer *a priori* la forma de ésta, por ejemplo, cómo se distribuían las rentas de los ciudadanos del primer ejemplo (aunque en Economía existan teorías para conjeturar modelos de distribución).

Estimación puntual Sea una distribución de probabilidad de forma conocida, $F(x; \theta)$, que incluye un parámetro desconocido θ (por ejemplo, el caso ya citado de una distribución normal cuando la media es desconocida y la desviación típica conocida). Se trata de tomar muestras de tamaño *n*, $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, y, a partir de las mismas, definir una función $\theta^* = \theta^*(x_1, x_2, \dots x_n)$ de modo que los valores de θ^* permitan estimar θ. A la función $\theta^*(x_1, x_2, \dots x_n)$ se le llama un *estimador* de θ. Naturalmente, las x_i son variables aleatorias (con la distribución $F(x; \theta)$ común a todas) y, por tanto, θ^* será también, no un número, sino una variable aleatoria. En efecto: cada muestra $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ da un valor para θ^*. Por lo tanto; ¿qué sentido tiene decir que θ^* *estima* a θ, que sí es un número? simplemente que los valores de θ^*, con cierta probabilidad, se aproximan a θ. Ahora bien; si la variable θ^* tuviera una dispersión muy pequeña alrededor de un valor determinado, éste sería una buena estimación de θ. Esta idea informal permite establecer algunas propiedades que deben tener los estimadores y que se resumen a continuación.

Se dice que un estimador θ^* es *centrado* o *insesgado* cuando su media o esperanza matemática es θ; es decir, $E(\theta^*) = \theta$; en caso contrario se dice que es *sesgado*.

La dispersión en torno a un punto de una variable aleatoria puede medirse de diferentes formas; la más cómoda es mediante el momento de segundo orden respecto a dicho punto. En el caso que nos interesa cabrá medir la *eficiencia* de un estimador θ^* de θ por $E(\theta^* - \theta)^2$. Cabrá incluso considerar la *eficiencia relativa* del estimador θ_2^* respecto al θ_1^*, mediante el cociente $E(\theta_2^* - \theta)^2/E(\theta_1^* - \theta)^2$. Cuando los estimadores son *centrados*, la *eficiencia* coincide con la varianza.

Cuando el tamaño de la muestra *n* tiende a infinito puede que $E(\theta^* - \theta)^2$ tienda a cero. Quiere ello decir que, para *n* grande, θ^* se concentra alrededor de θ, y que, en consecuencia, la probabilidad de que $|\theta^* - \theta|$ tienda a cero cuando *n* tiende a infinito es la unidad. Se dice entonces que θ^* es un estimador *consistente*.

Hay muchos medios de obtener estimadores. Uno elemental es, simplemente, el "de analogía": consiste en tomar como estimador de un *estadístico* de la población el mismo *estadístico* muestral.

Uno, muy general e interesante, es el de "máxima verosimilitud", debido a Fisher. Si $F(x; \theta) = \int_0^x f(x; \theta)dx$ es la distribución continua de la variable, o $p_i(\theta)$, i = 1 a r, las probabilidades discretas, se forma la llamada *función de verosimilitud* con los productos siguientes:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) = f(x_1; \theta)f(x_2; \theta) \dots f(x_n; \theta)$$

en el caso continuo, o

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) = [p_1(\theta)]^{n_1} \dots [p_r(\theta)]^{n_r}$$

en el discreto (siendo $n_1, n_2, \dots, n_r$ las frecuencias con que se obtienen los valores $x_1, \dots, x_r$). El estimador se obtiene como solución de la ecuación

$$\frac{\partial \log L}{\partial \theta} = 0$$

y se llama *estimador de máxima verosimilitud*. (Si hay más de un parámetro a estimar, se deriva respecto a todos, y se igualan las derivadas a cero).

Otro método también muy general es "el de los momentos", debido a Pearson, que consiste en calcular los momentos de la muestra e igualarlos a los de la variable (se elige un número de momentos que coincidan con el de parámetros a estimar).

Veamos un ejemplo muy sencillo. Sea un suceso aleatorio tal que tiene sólo dos resultados posibles. La distribución será: $p_1(\theta) = \theta$, $p_2(\theta) = 1 - \theta$; el parámetro desconocido es en este caso θ. La función de verosimilitud para muestra de tamaño *n* será:

$$L = \theta^{n_1}(1-\theta)^{n-n_1}$$

y el método de máxima verosimilitud daría

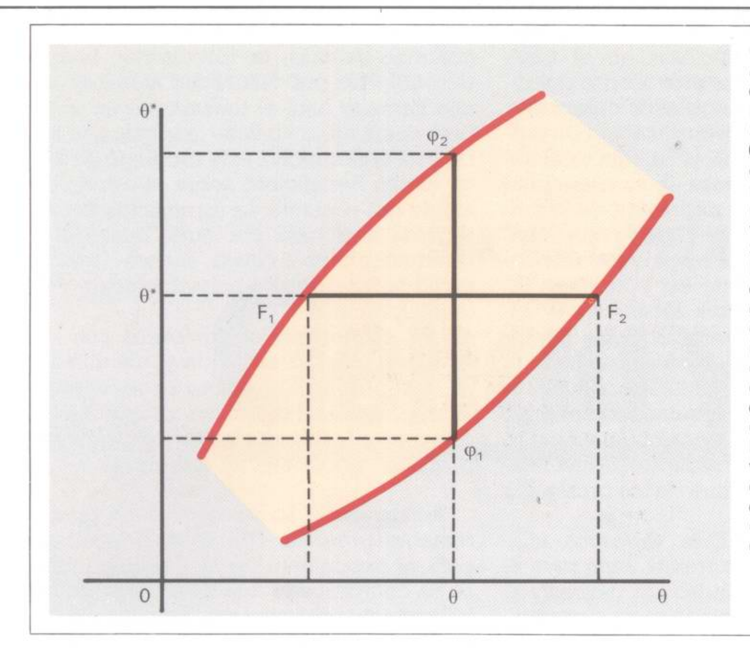
$$\frac{\partial \log L}{\partial \theta} = \frac{1}{L}\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{n}{\theta} - \frac{(n-n_1)}{1-\theta} = 0$$

cuya solución es $\theta = n_1/n$ (la probabilidad se estima por la frecuencia).

El método de los momentos hubiera dado el mismo resultado ya que se hubiera hecho:

$$1 \cdot \theta + 2(1-\theta) = 1 \cdot \frac{n_1}{n} + 2 \cdot \frac{n-n_1}{1-\theta}$$

Estimación por intervalos de confianza Por regla general la estimación puntual no es satisfactoria (un valor θ^* para estimar θ) y se recurre a establecer lo que se llama un *intervalo de confianza*, es decir, un intervalo tal que la probabilidad de que el parámetro θ esté comprendido en él tenga una probabilidad pequeña. Por ejemplo, volviendo al caso de que se ten-



En la figura se esquematiza el método de Neyman para formar intervalos de confianza. Se trata de estimar θ (parámetro desconocido no aleatorio) por el estimador θ^*, variable aleatoria. Se supone calculada la ley de probabilidad de esta última; (en la que θ será una constante), que cabe imaginar distribuida en la vertical correspondiente a θ dado. Se puede entonces establecer los valores, $\varphi_1(\theta;\alpha)$ y $\varphi_2(\theta;\alpha)$, tales que la masa de probabilidad comprendida en el intervalo $[\varphi_1(\theta;\alpha),\ \varphi_2(\theta;\alpha)]$ sea $1-\alpha$. Ello puede hacerse de infinitas maneras, ya que bastará para ellos que las semirrectas $(-\infty,\ \varphi_1(\theta;\alpha)]$ y $[\varphi_2(\theta;\alpha), \infty)$ comprendan masas de probabilidad de valores α_1 y α_2, respectivamente, con la condición de que $\alpha_1+\alpha_2=\alpha$. Las φ_1 y φ_2 pueden elegirse monótonas y continuas de forma que al variar θ, describan dos curvas que definan una región tal que, para ella, sean equivalentes las dos condiciones:

$[\varphi_1(\theta;\alpha)<\theta^*<\varphi_2(\theta;\alpha)]$

y

$[F_1(\theta^*;\alpha)<\theta<F_2(\theta^*;\alpha)]$

y, por tanto, tenga sentido decir que la probabilidad de que θ (no aleatoria) esté en el intervalo de confianza $[F_1, F_2]$ vale, precisamente, $1-\alpha$

ga un estimador θ^*, podría establecerse una desigualdad del siguiente tipo

$$\text{Prob}\,[\theta^*-\delta<\theta<\theta^*+\delta]=1-\alpha$$

en la que δ mediría la *precisión* de la estimación, y la probabilidad $1-\alpha$, la *confianza* de la misma.

Naturalmente, si se tiene la distribución de θ^* es posible establecer tal desigualdad. Pero también, en muchos casos, puede obtenerse con relativa facilidad un intervalo de confianza de modo directo, es decir, un segmento

$$[F_1(x_1, x_2, ..., x_n), F_2(x_1, x_2, ..., x_n)]$$

función de la muestra, tal que la probabilidad, llamada *coeficiente de confianza*, de que θ esté comprendido en él valga $1-\alpha$.

Veamos un ejemplo simple. Sea una variable aleatoria normal con media μ desconocida (que se quiere estimar) y desviación típica conocida σ. Se sabe que la media muestral, $\bar{x}=(1/n)\Sigma x_i$, tiene distribución normal de media μ y desviación $\sigma/\sqrt{n}$; luego la variable tipificada $(\bar{x}-\mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ es una variable normal de media cero y desviación unidad y se tiene:

$$\text{Prob}\left[\frac{|\bar{x}-\mu|}{\sigma}\sqrt{n}\leqslant\lambda_\alpha\right]=1-\alpha$$

siendo λ_α el valor tal que en la función de distribución normal, dada en las tablas de la misma, corresponde a

$$\text{Prob}\,(-\lambda_\alpha<\xi<\lambda_\alpha)=1-\alpha$$

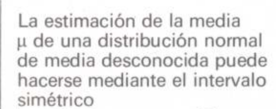
(para los valores usuales del coeficiente de confianza $(1-\alpha)$: 0,95; 0,99 y 0,999 los de λ_α son: 1,96; 2,57 y 3,29 respectivamente).

En consecuencia el intervalo de confianza queda

$$\text{Prob}\left[\bar{x}-\lambda_\alpha\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\leqslant\mu\leqslant\bar{x}+\lambda_\alpha\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right]=1-\alpha$$

El anterior intervalo es *exacto*, es decir, la probabilidad $1-\alpha$ corresponde exactamente al valor λ_α, porque el resultado de que $(\bar{x}-\mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ es normal, de media cero y desviación unidad, si la variable primitiva es normal de media μ y desviación σ, es un teorema matemático. Sin embargo, el mismo puede extenderse para una variable original que tenga una distribución arbitraria con media μ desconocida y desviación típica conocida σ, considerando la igualdad sólo como aproximada. Ello es válido sólo si *n* es suficientemente grande (por ejemplo, $n>30$) y se basa en el hecho de que, como consecuencia del teorema "central del límite", $(\bar{x}-\mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ tiende, para *n* tendiendo a infinito, a una variable normal de media cero y desviación unidad.

Si en el caso anterior no se conoce tampoco σ hay que recurrir a la propiedad de que $(\bar{x}-\mu)/(s/\sqrt{n-1})$, siendo $\bar{x}$ y *s* la media y la desviación típica respectivamente de la muestra, es decir:



$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum x_i \qquad s^2=\frac{1}{n}\sum(x_i-\bar{x})^2$$

se distribuye según la *t* de Student de n-1 grados de libertad y, por tanto, el intervalo de confianza es ahora

$$\text{Prob}\left[\bar{x}-t_\alpha\frac{s}{\sqrt{n-1}}\leqslant\mu\leqslant\bar{x}+t_\alpha\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right]=1-\alpha$$

donde $1-\alpha$ es la probabilidad que dicha distribución atribuye a los valores comprendidos en $(-t_\alpha, t_\alpha)$, y que puede obtenerse de las Tablas de la misma.

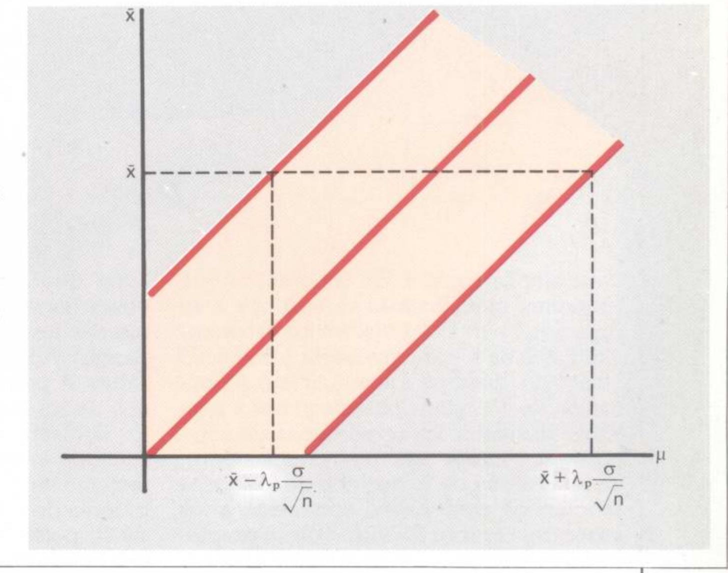
En casos más complicados —por ejemplo cuando hay que estimar varios parámetros simultáneamente— pueden considerarse regiones de confianza en un espacio de varias dimensiones (el llamado espacio paramétrico), de modo que un punto $X=(x_1, x_2, ...\ x_n)$ del espacio muestral no determina un intervalo sino una de dichas regiones. La técnica es similar a la ya expuesta.

Véase **Contraste de hipótesis; Estadística; Estadística descriptiva; Muestreo estadístico; Probabilidad; Teoría de la decisión**

La estimación de la media μ de una distribución normal de media desconocida puede hacerse mediante el intervalo simétrico

$\left[\bar{x}-\lambda_p\frac{\sigma}{\sqrt{n}},\ \bar{x}+\lambda_p\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right]$

si λ_p es el valor que en las tablas de la normal corresponde a la probabilidad $1-\alpha$. En una gráfica cartesiana $(\mu, \bar{x})$ tal intervalo puede considerarse como el segmento horizontal comprendido entre las dos rectas paralelas a la diagonal del primer cuadrante que cortan al eje $\bar{x}$ a iguales distancias verticales $\lambda_p\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (naturalmente, cabrían intervalos no simétricos con la misma confianza $1-\alpha$).



Estimulantes

Las sustancias estimulantes constituyen casi el 50% de todos los fármacos existentes. Se utilizan primordialmente para estimular algunas funciones del organismo. Las de consumo más generalizado son las metilxantinas, los principales compuestos estimulantes que se encuentran en el café, en el té, en el cacao y en las bebidas a base de cola. Los estimulantes del grupo de las metilxantinas son la cafeína, la teofilina y la teobromina, la más potente de las cuales es la cafeína.

Efectos de la cafeína y de otras metilxantinas La cafeína es un diurético, es decir, es capaz de estimular la formación y la eliminación de la orina. Actúa también en el estómago, incrementando las secreciones gástricas. Dosis moderadas de cafeína excitan también el bulbo y la corteza cerebral, originando insomnio, agitación y agilidad mental, efectos conocidos por la mayoría de las personas. Se puede llegar a tener un cierto hábito de tomar cafeína, pero esta sustancia no origina verdadera adición. El té contiene teofilina, teobromina y cafeína; el cacao, notables cantidades de teobromina y cafeína.

La amplia difusión de las bebidas que contienen metilxantinas se atribuye a su capacidad para colaborar en los esfuerzos intelectuales y para favorecer las asociaciones de ideas, para acentuar la discriminación de los estímulos sensoriales y para hacer disminuir las sensaciones de somnolencia y fatiga. Las metilxantinas originan dilatación de la mayoría de los vasos sanguíneos, pero hacen contraerse a los vasos del cerebro. En virtud de su propiedad vasoconstrictora en el árbol vascular cerebral, las metilxantinas resultan terapéuticamente beneficiosas en el tratamiento de las cefaleas provocadas por dilatación de vasos sanguíneos cerebrales. En los casos de sobredosificación de barbitúricos y de morfina, la cafeína es el antídoto preferido a causa de su capacidad para contrarrestar la depresión de la función respiratoria. La teofilina es una metilxantina que facilita la respiración relajando los bronquiolos de los pulmones. Es, por lo tanto, de máxima eficacia en el tratamiento del asma bronquial grave. La epinefrina, la efedrina, la pseudoefedrina, el isoproterenol y la terbutalina se utilizan principalmente en el tratamiento del asma bronquial, debido a que también estos fármacos son capaces de producir una relajación de la musculatura de los bronquios.

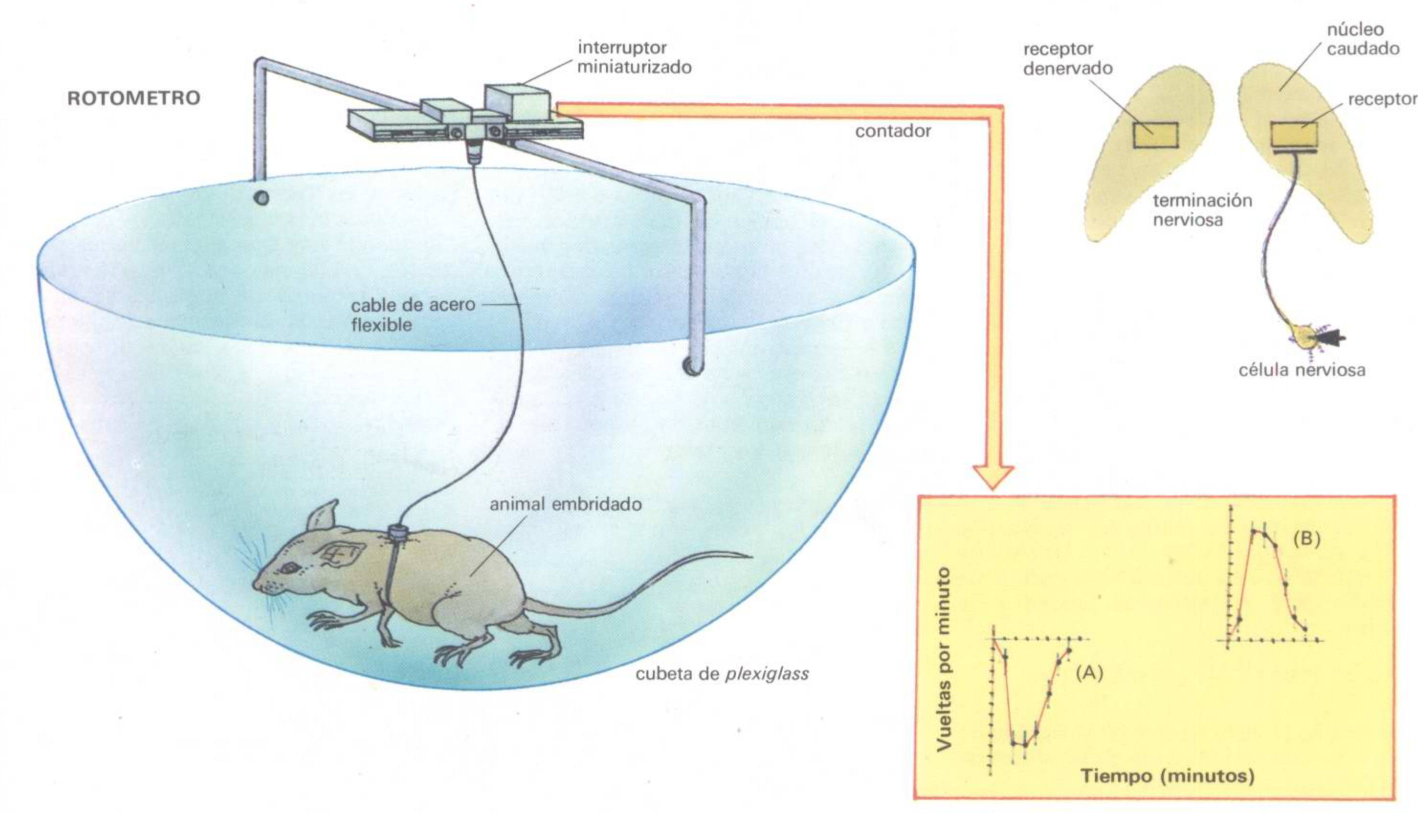
Antidepresivos Estos fármacos, utilizados en los últimos treinta años para el tratamiento de los síndromes depresivos, se clasifican en inhibidores de monoamino-oxidasa (MAO) y fármacos antidepresivos tricíclicos. Los primeros, entre los que se cuenta la isocarboxacida, inhiben la acción de la monoamino-oxidasa, un enzima que cataboliza las catecolaminas, como consecuencia de lo cual se incrementan los niveles de norepinefrina, dopamina y de 5-hidroxitriptamina en el cerebro. A pesar de que se conocen algunos de los mecanismos de acción de estos fármacos y de que se investiga intensamente en este campo, no está aún perfectamente claro cómo funcionan los inhibidores de monoamino-oxidasa y, a causa de su potencial tóxico, deben ser utilizados con precaución.

Los efectos del primer inhibidor de monoamino-oxidasa, la iproniacida, fueron descubiertos por casualidad al utilizar dicho fármaco para el tratamiento de la tuberculosis, apreciándose que, más que curar esta enfermedad, este producto poseía un efecto beneficioso sobre el estado de ánimo del paciente. La iproniacida fue en seguida sustituida por otros inhibidores de monoamino-oxidasa menos tóxicos, como la fenelzina, la isocarboxacida y la tranilcipromina.

Los antidepresivos tricíclicos son los fármacos más utilizados en el tratamiento de la depresión. Entre ellos se encuentran la imipramina, amitriptilina, protriptilina y doxepina. A diferencia de los primeros, producen pocos efectos peligrosos.

Anfetamina La anfetamina fue primeramente prescrita con cierta frecuencia para el tratamiento de la obesidad, pero se ha comprobado que es un fármaco relativamente ineficaz para esta finalidad y se ha descubierto también que puede provocar adición. Una severa legislación sobre la utilización de los fármacos ha reducido las prescripciones de anfetamina, de las que se abusaba abiertamente, y muchos fármacos de naturaleza anfetamínica han sido retirados del mercado.

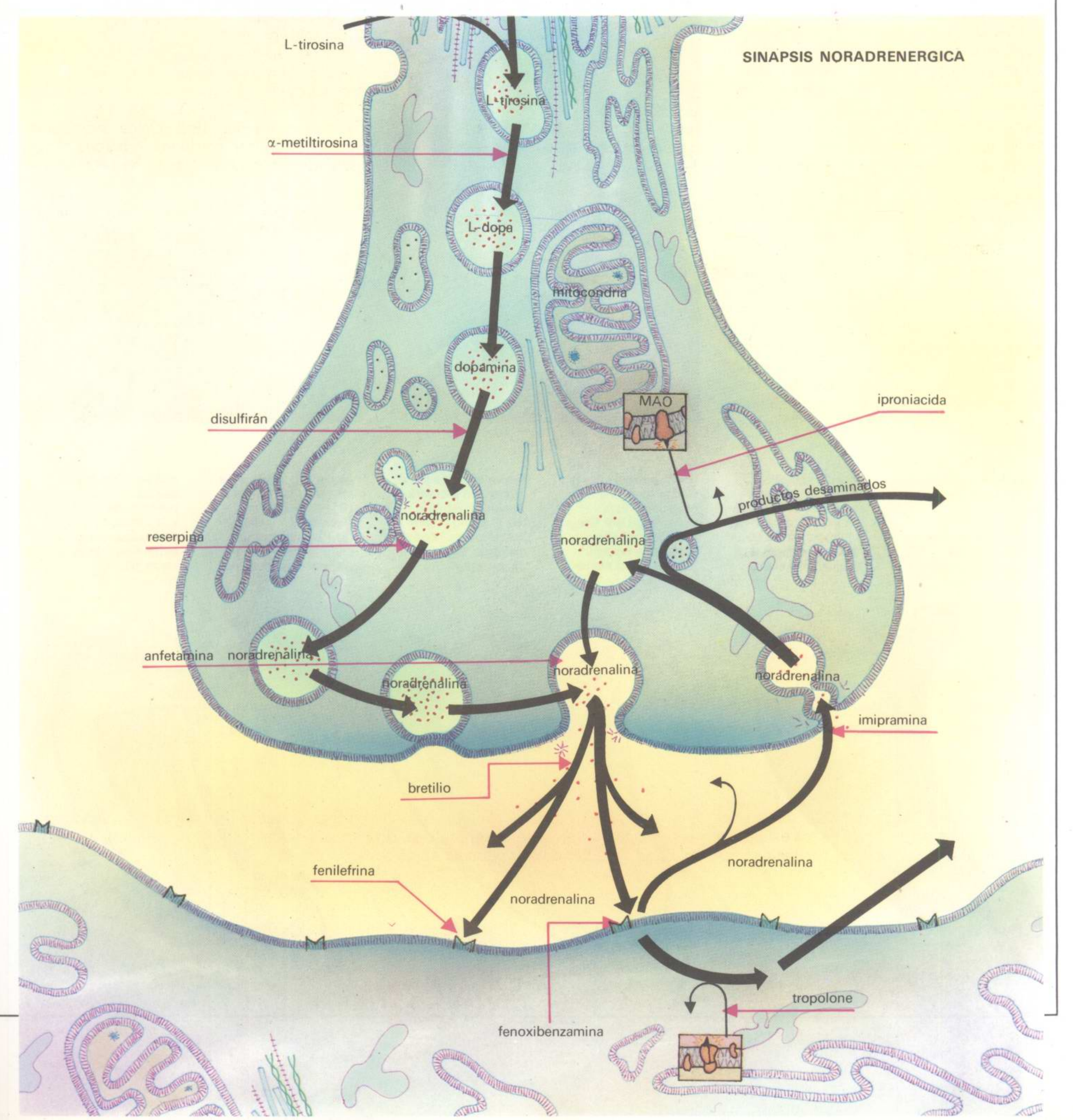
Cocaína La cocaína, alcaloide extraído de las hojas de algunas especies de *Erythroxylum*, es un excelente anestésico local y vasoconstrictor, e incluso un potente estimulante del sistema nervioso central, que con frecuencia es administrado por vía nasal. Su utilización limitada se atribuye en parte a su elevado costo. Ad-



ministrada por vía endovenosa, puede originar ciertas alteraciones, como aceleración del latido cardíaco acompañada de palpitaciones, alucinaciones, ilusiones paranoides e incluso muerte.

Véase **Cerebro; Nervioso, sistema**

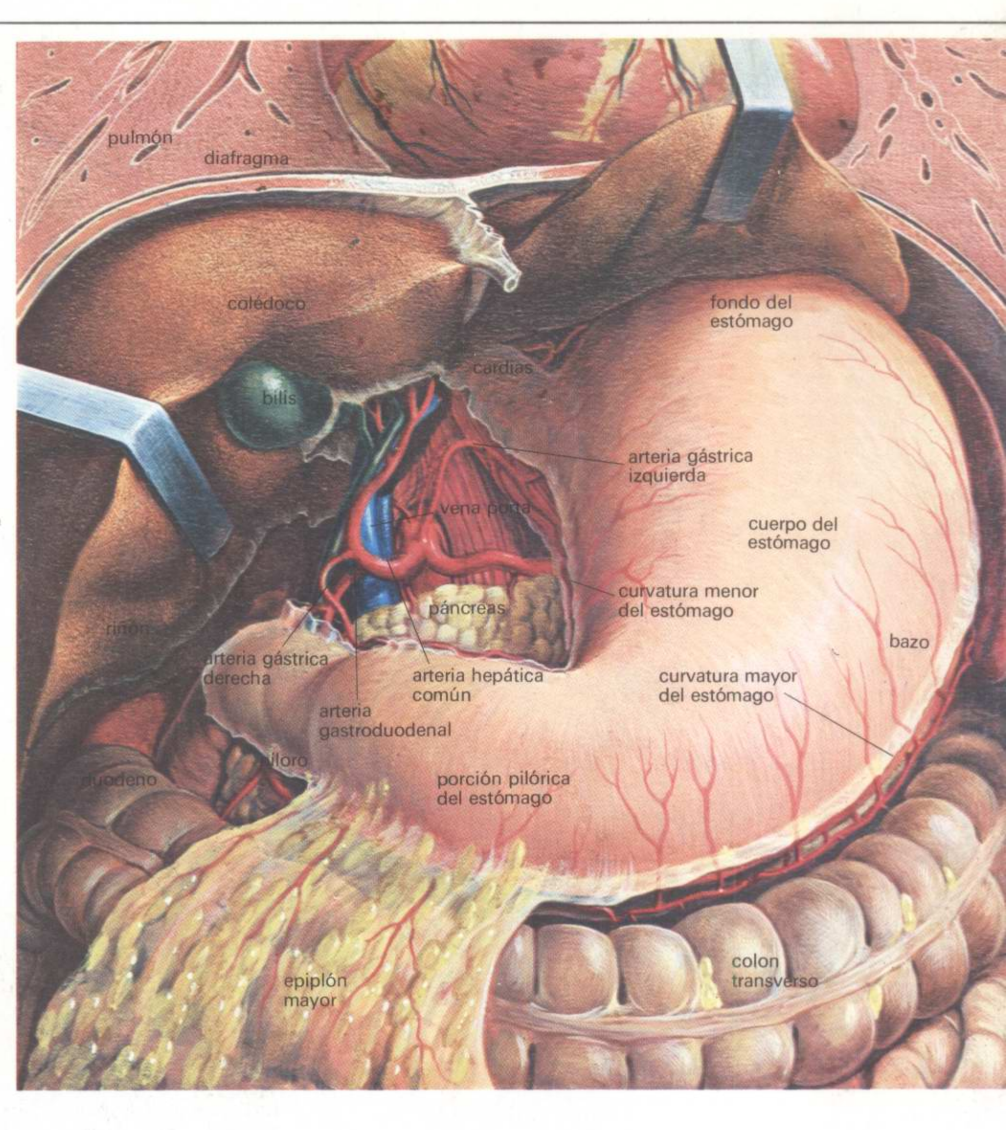
Los animales de experimentación se utilizan para el estudio de los fármacos estimulantes, analizando no sólo los efectos sobre los órganos, sino también estudiando el comportamiento del animal (a la izquierda). El ratón, especie en la que son perfectamente conocidos ciertos hábitos de comportamiento, es introducido en unos contenedores a los que está unido un sistema de registro de los movimientos de rotación que se imprimen al animal. Una cubeta de plexiglás impide al animal moverse hacia delante y hacia atrás. De este modo cualquier acto de inquietud se manifiesta por un movimiento de rotación. El sistema se denomina, por este motivo, rotómetro. Los movimientos del ratón son transmitidos por un cable flexible de acero a un interruptor miniaturizado y desde aquí a un contador que registra las rotaciones que el animal lleva a cabo en cada minuto. Se han realizado dos experimentos, estimulando el núcleo caudato del cerebro (indicado aquí en proyección horizontal) desposeído de receptores para una serie de fármacos estimulantes (A) y poseyendo todavía tal sistema de receptores (B). Cuando dominaba la estimulación del receptor denervado, el animal rotaba en la dirección A; si, por el contrario, prevalecía la estimulación del receptor inervado, el animal se movía en la dirección B. Cada punto, en los gráficos (A) y (B), representa la media obtenida de las mediciones efectuadas en numerosos ratones. La anfetamina y los barbitúricos son así evaluados mediante experimentos desarrollados en animales en los que se han alterado artificialmente algunas características neurológicas. Los distintos fármacos actúan en zonas diferentes del sistema nervioso. En el caso de una sinapsis noradrenérgica (abajo) los fármacos pueden alterar la transmisión. Intervienen, en efecto, en el ciclo bioquímico que define la propia transmisión, desde la tirosina y la L-dopa hasta la noradrenalina liberada por la terminación nerviosa. El conocimiento de los lugares concretos donde los fármacos actúan (sitios nocivos) y su naturaleza bioquímica (receptores específicos) permite la correcta evaluación de la importancia de su acción. Puede observarse, por ejemplo, que la anfetamina actúa a nivel de la noradrenalina (NE) de modo directo, y que la iproniacida, por el contrario, actúa sobre las monoamino-oxidasas (MAO) y sobre la formación de los productos desaminados.



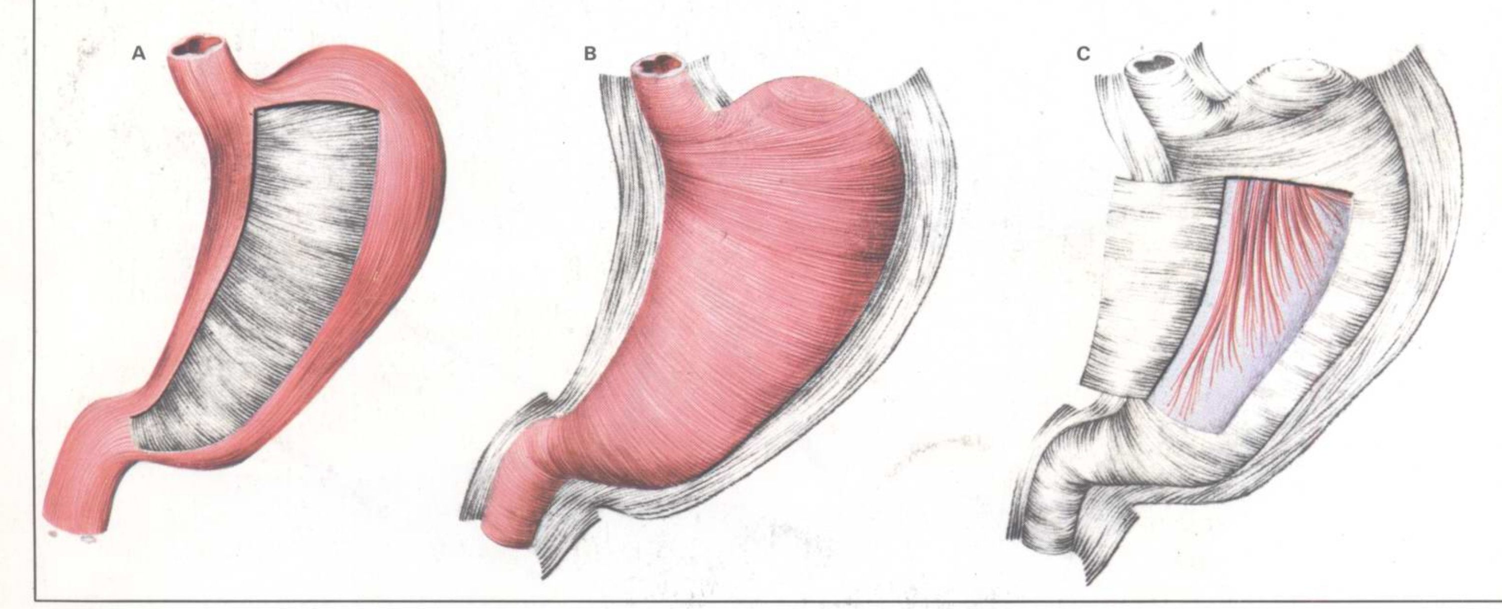
Estómago

No todo lo que comemos puede ser utilizado inmediatamente por el organismo. Una gran parte de las sustancias nutricias de los alimentos debe ser descompuesta en productos relativamente simples antes de poder pasar del aparato digestivo al flujo sanguíneo. La función del estómago en la digestión humana es tomar el alimento que ha sido parcialmente descompuesto por la masticación y por los enzimas digestivos de la saliva y descomponerlo ulteriormente en una mezcla semilíquida de alimento y jugos gástricos denominada *quimo*. La misión principal del estómago no es la filtración de las sustancias nutricias del quimo, sino la preparación del mencionado quimo para que su absorción tenga lugar en el segmento inmediato del aparato digestivo, esto es, en el duodeno.

Con una forma bastante parecida a una gaita, el estómago está situado en la parte superior izquierda del abdomen. La pared del estómago está compuesta por distintos estratos y puede dilatarse fácilmente para contener hasta cerca de un litro de alimento. La mucosa, el tejido más interno de la pared del estómago, está constituida por un epitelio prismático monoestratificado, cuyas células segregan gránulos de mucinógeno, que son eliminados como tales a medida que se van formando y que posteriormente se transforman en *mucina*. En el espesor de la mucosa se alojan las glándulas gástricas, cuya pared está compuesta por *células principales* o *adelomorfas*, *células parietales* o *delomorfas*, y *células accesorias*. Las glándulas segregan el jugo gástrico, que está compuesto principalmente por agua, sales minerales, moco, ácido clorhídrico y pepsina. La pepsina, segregada por las células principales (o



En la figura de la parte superior izquierda de esta página puede verse una representación del estómago y sus relaciones con los órganos vecinos. El órgano se encuentra situado en la cavidad abdominal, debajo del diafragma, entre el hígado y el bazo. Los dibujos bajo estas líneas representan la túnica muscular del estómago. Está constituida por fibras musculares lisas colocadas en tres planos. En el plano superficial, las fibras tienen un recorrido longitudinal (A); en el plano medio, el recorrido es horizontal, es decir, están dispuestas perpendicularmente a las fibras superficiales (B); en el plano interno, por último, las fibras tienen un trayecto oblicuo y se disponen en abanico, con su parte más estrecha situada en un punto entre el esófago y el fondo del estómago, y la parte extendida, en las dos caras (C).



fundamentales), es un enzima que desdobla las proteínas en cadenas más simples. La pepsina está almacenada en las células en forma de pepsinógeno, y se convierte en su forma activa cuando se segrega al ámbito ácido del estómago. La pepsina requiere también un ambiente ácido para poder funcionar.

El alimento se descompone no sólo a través de medios químicos, sino también mediante los movimientos producidos por los tres estratos de musculatura lisa del estómago. Las más ligeras de estas contracciones gástricas, llamadas *ondas mezcladoras*, se producen con una frecuencia de unas tres veces por minuto, incluso en ausencia de alimento, y llevan a cabo la mezcla del alimento con el jugo gástrico. La presencia de alimento en el estómago origina ondas más fuertes, que impulsan el contenido gástrico hacia la unión entre estómago e intestino delgado. Las ondas más fuertes hacen que casi se toquen las paredes del estómago, dividiendo la cavidad gástrica en dos compartimentos separados; a medida que estas ondas se desplazan hacia la parte inferior del estómago, hacen que el quimo penetre en el duodeno.

La distensión de la parte inferior del estómago provoca la liberación de la gastrina, una hormona que estimula una ulterior producción de jugo gástrico.

El tránsito del quimo hacia el intestino delgado depende de la consistencia y de la temperatura del quimo, aparte del hecho de que carezca de grumos demasiado gruesos como para pasar a través de la válvula muscular que separa el estómago del duodeno.

La actividad del estómago está regulada tanto por estímulos hormonales como por impulsos nerviosos, según el estado emotivo de la persona además del contenido del estómago. Mientras que un miedo extremo puede conducir a un cese de la actividad del estómago, un estado de agitación nerviosa prolongado se piensa que puede llevar a un incremento de la actividad del estómago.

Por otra parte, el estómago es un órgano que se encarga de la producción del *factor intrínseco*, una sustancia de naturaleza mucoproteica necesaria para la absorción de la vitamina B_{12}, la cual es a su vez indispensable para una normal función eritropoyética. La falta de absorción de esta vitamina provoca una particular forma de anemia, denominada *anemia perniciosa*.

Véase **Digestión; Digestivo, aparato; Vitaminas**

A la derecha, esquema que reproduce la estructura de la túnica mucosa del estómago. A) En la región del cardias existen glándulas tubulares muy ramificadas, con células que segregan sustancia mucoide (en gris más oscuro). B) En el cuerpo se encuentran glándulas compuestas por tres tipos de células: las células accesorias, que segregan sustancias mucoides; las células delomorfas, que producen ácido clorhídrico; y las células adelomorfas, que contienen el pepsinógeno. C) En la porción pilórica las glándulas son tubulares ramificadas y segregan sustancia mucoide (células en gris más oscuro). En la sección del estómago, que sirve de fondo a estos esquemas, se representa: en rojo, la región del cardias y el fondo; en gris, el cuerpo; y en azul, la porción pilórica.

Estrella

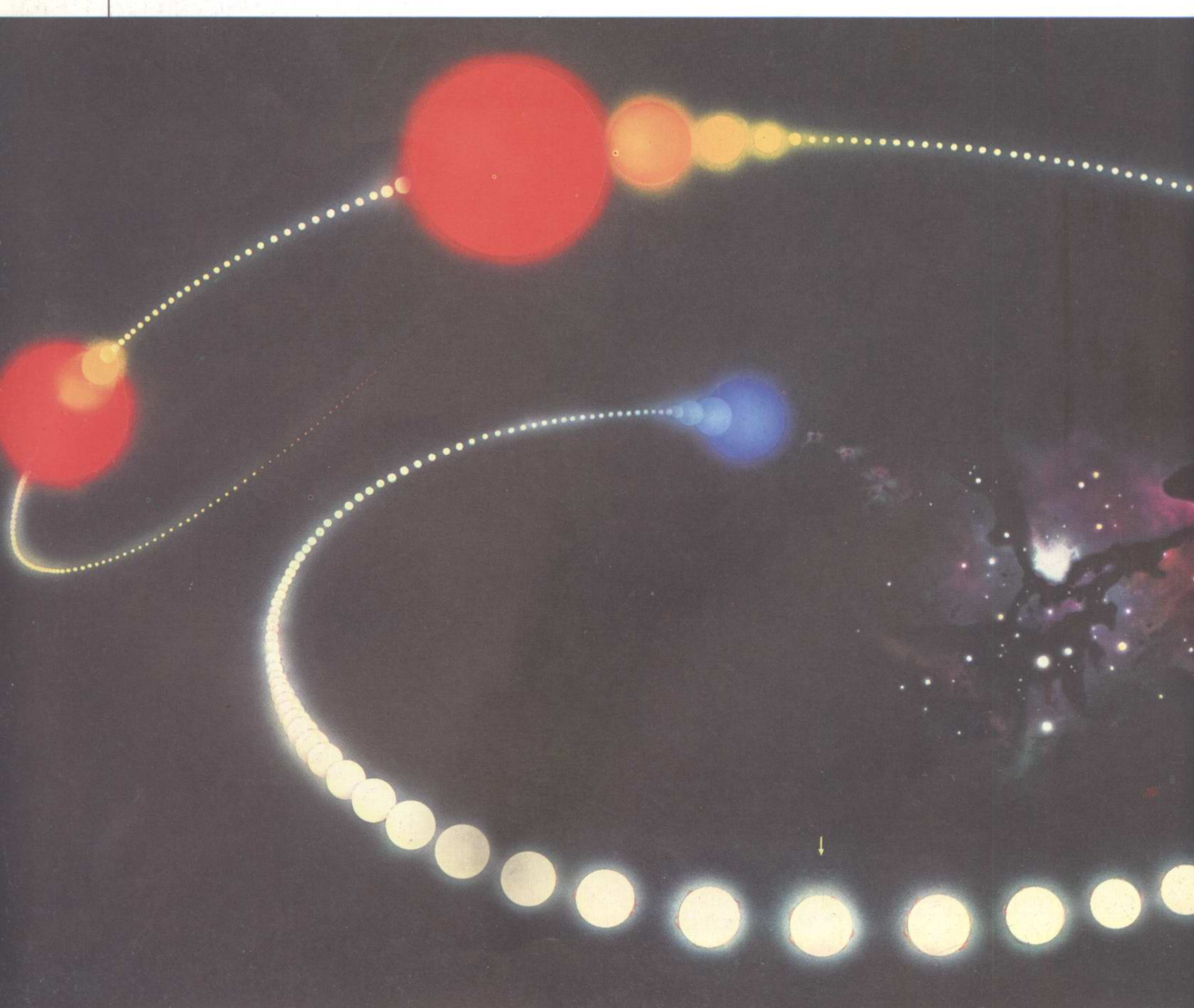
Actualmente, con la ayuda de sofisticados telescopios y con el potencial analítico de las computadoras de alta velocidad, somos capaces de saber cada vez más sobre la vida, las verdaderas dimensiones, la composición y los procesos evolutivos de los miles de millones de estrellas que forman nuestra galaxia y otras más alejadas.

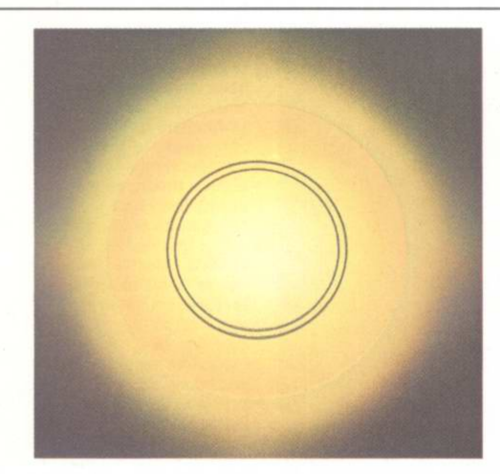
Es verdad que muchos de nuestros conocimientos son experimentales, pero, aunque se trata de objetos que distan cientos e incluso miles de años-luz, los astrónomos han realizado enormes progresos durante las últimas décadas en cuanto a la interpretación de los distintos tipos de señales electromagnéticas emitidas por las estrellas. Afortunadamente para los astrónomos, nuestro Sol es un excelente testimonio para nuestras comprobaciones. Precisamente, al estar en el punto medio de su evolución estelar, es representativo de la mayoría de las estrellas de nuestra galaxia. Las observaciones realizadas sobre sus características suministran una enorme cantidad de informaciones útiles y generalizables a todas las estrellas.

El nacimiento de una estrella Las teorías más completas y ampliamente aceptadas sobre el nacimiento de las estrellas se basan en lo que se conoce como *condensación estelar*. Cuando nació la galaxia, puede que haga unos 14.000 millones de años, ésta consistía en nubes difusas y desperdigadas de gases y partículas atómicas. Dichas nubes, compuestas en gran parte por hidrógeno y helio, interaccionaban periódicamente, aumentando de tamaño y ocupando áreas del espacio cada vez mayores. A medida que se unían aumentaban las presiones en su interior y, en consecuencia, aumentaba la temperatura. En esta primera etapa, el momento crucial lo constituye la formación de las primeras partículas de materia en el interior de la nube, gracias al aumento estadístico de la probabilidad de choque y de enlace de sus moléculas; en efecto, el aumento de la temperatura en el interior de la nube se traduce en un aumento de la energía cinética de sus moléculas y, por lo tanto, de su velocidad, haciéndose más probable que éstas interaccionen y se unan. A medida que se formaban las partículas, sus atracciones gravitacionales aumentaban, y la nube comenzó a consolidarse en forma de una densa masa gaseosa. Dicha forma esférica embrional ha sido llamada *protoestrella*.

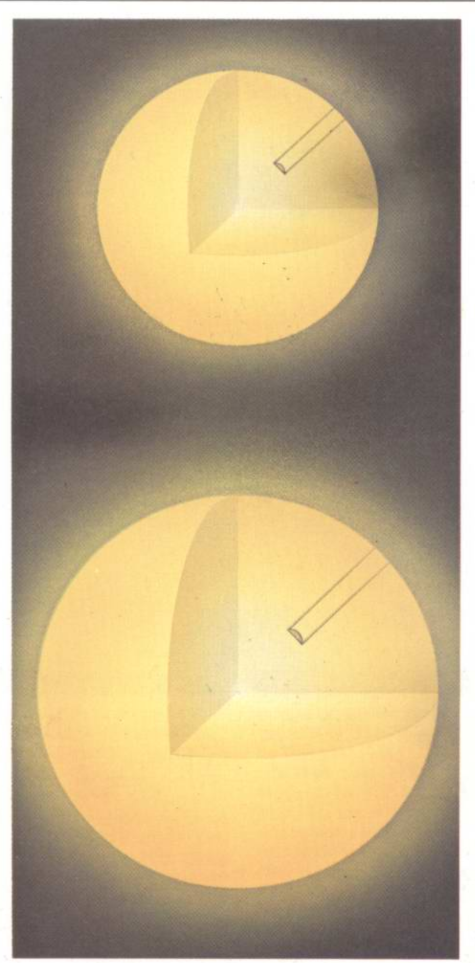
Una vez formada la protoestrella, comienza un proceso conocido como *contracción*. Este es un fenómeno puramente gravitacional, en el que los átomos de la nube protoestelar caen —en el estricto sentido de la palabra— hacia el centro. Sin nada sólido que los detenga, se acumulan allí en cantidades siempre crecientes. La contracción señala la transformación de la protoestrella en *estrella*.

La entrada en la secuencia principal La contracción gravitacional hace que la temperatura del núcleo de la protoestrella aumente, lentamente al princi-

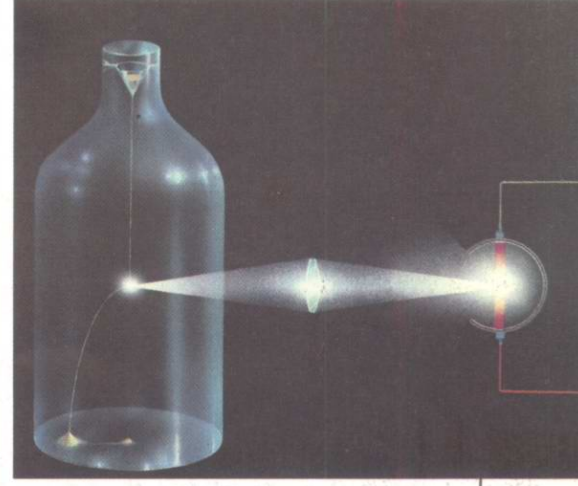




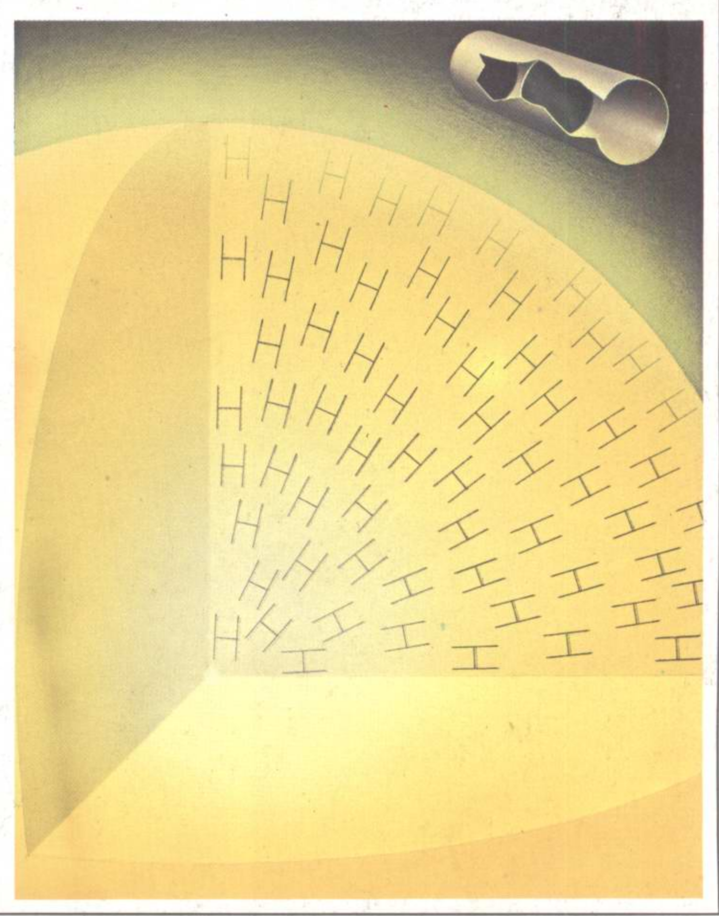
El estudio de la estructura estelar exige conocimientos que se refieren al interior de la estrella, que no puede ser observado mediante telescopios. Sin embargo, pueden plantearse hipótesis para predecir las propiedades del interior: dichas propiedades se reflejan en las de la superficie. Arriba, corteza superficial de una estrella ideal.



En este "modelo" de astro (izquierda), la presión bajo la corteza debe ser igual a la suma de la presión exterior y el peso de la superficie. En el dibujo, una pareja de estrellas ideales homólogas (se llaman *homólogas* las estrellas que, a una misma fracción de distancia del centro, tienen la misma densidad), para las que son aplicables las leyes de Lane. Una de dichas leyes establece que en puntos correspondientes de dos estrellas homólogas la densidad varía según M/r^2, la presión según M^2/r^4 y la temperatura según M/r. *M* es la masa de la estrella y *r* su radio. Para establecer la validez de las leyes de Lane hay que considerar secciones cilíndricas dentro de la estrella, que parten de la superficie y se extienden hasta profundidades correspondientes a la misma fracción del radio. También las secciones deben verificar la misma proporción.

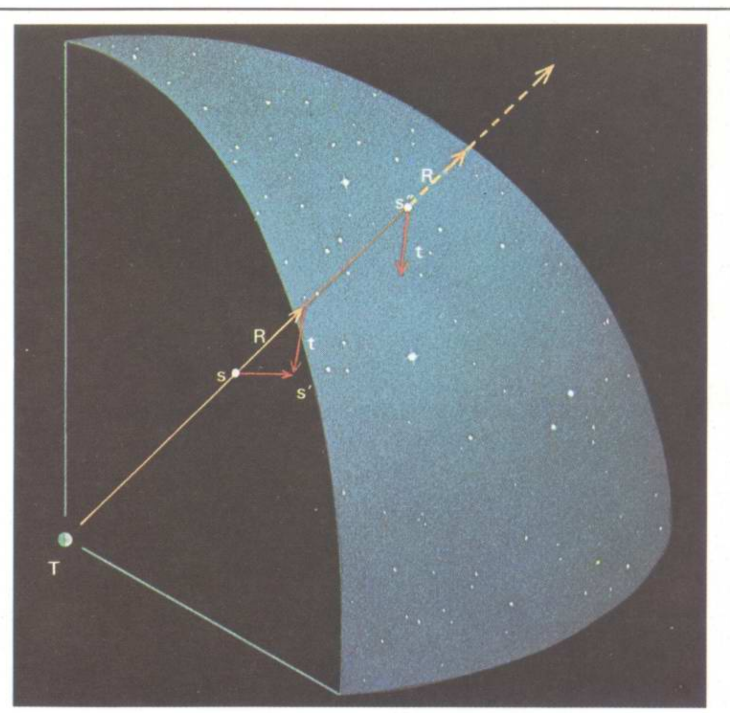




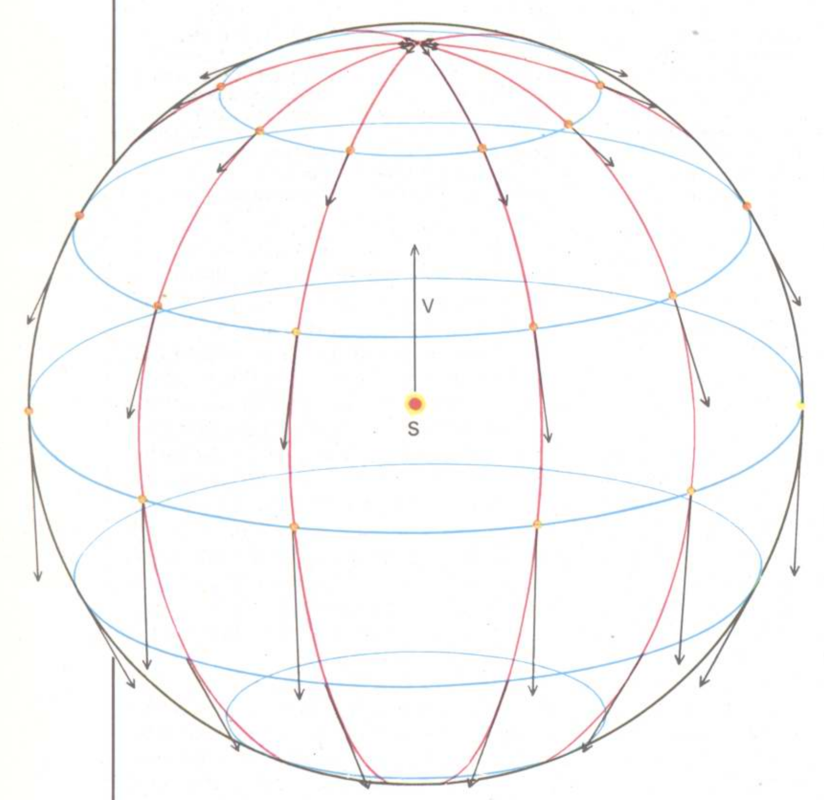


A la derecha, modelo de Eddington para determinar la presión y temperatura en el interior de una estrella: los átomos son como cajitas cilíndricas con un diafragma central. La radiación estelar entra en las cajitas pero no puede salir de ellas sin atravesar el diafragma, que funciona como retardador. Para una cierta masa y diámetro, la estrella se encuentra en posesión de una luminosidad estabilizada que depende de la presión interna, que a su vez depende de la temperatura. Arriba, el experimento de la presión de radiación: la luz de un arco voltaico con poco más de cuatro mil grados, ejerce suficiente presión sobre las partículas de polvo como para desviar su caída. En el centro de las estrellas, es la presión de radiación la que equilibra la presión hidrostática de toda la materia de las capas superiores. A la izquierda, la evolución de una estrella desde su nacimiento hasta su muerte.

pio, y después, con el paso del tiempo, rápidamente. Partiendo de 100 K (grados Kelvin), la temperatura de la masa gaseosa alcanza, al cabo de unos 10 millones de años, el valor de 10.000.000 K (grados Kelvin). Durante este tiempo, la actividad molecular aumenta progresivamente, llegando a un punto en que el gas alcanza una densidad lo bastante elevada como para que la protoestrella se convierta en un cuerpo opaco. Sólo falta la puesta en marcha de un mecanismo para que la protoestrella culmine su proceso de conversión en estrella: el estallido de una reacción de fusión nuclear en el núcleo, para el cual es requisito imprescindible la citada temperatura de 10.000.000 K (grados Kelvin). Una vez desencadenadas las reacciones de fusión nuclear, la estrella, ahora viva, comienza a utilizar su hidrógeno con un ritmo muy acelerado, transformándolo principalmente en helio e irradiando enormes cantidades de energía a través de su envoltura exterior y hacia el espacio. Este proceso de fusión puede continuar durante miles de millones de años, como en el caso del Sol, que lleva 4.700 millones de años realizando este proceso y seguirá haciéndolo durante otros tantos o incluso más. Durante esta etapa de su evolución, se dice que la estrella se encuentra en la *secuencia principal*.



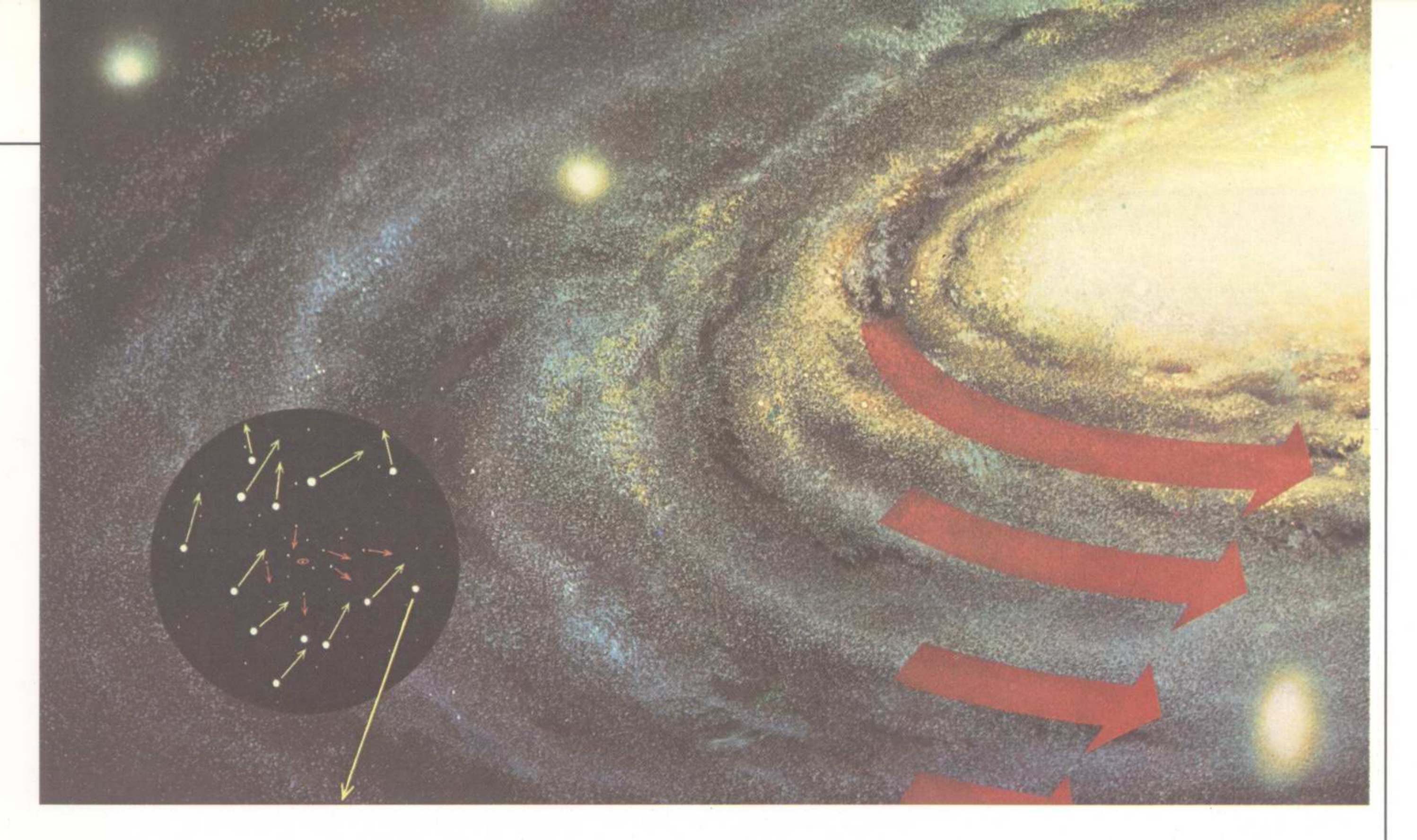
El estudio de las estrellas comienza con la determinación de su posición en la bóveda celeste. A la izquierda se muestra la forma en que, desde la Tierra, representamos una estrella mediante un punto que es su proyección sobre una esfera imaginaria, la bóveda celeste. Una vez se hubo calculado la distancia a que se encuentran las estrellas, la medición, en tiempos sucesivos, de la posición de la estrella permitió posteriormente descubrir que muchas estrellas se mueven. En un principio se consiguió medir la velocidad tangencial del movimiento. Más tarde se ha podido determinar también la velocidad radial, es decir, la que hace variar la distancia de la estrella respecto al Sol y la Tierra.



Las primeras observaciones del movimiento de las estrellas pusieron en evidencia que éstas están sujetas, por lo general, a movimientos desordenados; sin embargo, existe un movimiento de fondo que no es debido a ellas sino a la Tierra. La esfera superior muestra, en el centro, la Tierra, y sobre su superficie, algunas estrellas. La Tierra se mueve con la velocidad representada por la flecha V hacia un polo de la esfera al que se le ha llamado *Apex*. La Tierra se acerca a las estrellas que se encuentran en la dirección del Apex, mientras que éstas parecen apartarse, según indican las flechas pequeñas. Este movimiento que parecen tener dichas estrellas es sólo aparente y se debe al movimiento (simultáneo a la observación) de la Tierra y del Sol.

La estrella que envejece Seguir la evolución de una estrella tras su permanencia en la secuencia principal es un viaje fascinante, dada la diversidad que, de acuerdo con sus características, ésta puede seguir. Normalmente, las últimas fases de la evolución estelar son precedidas por un estado en el que la estrella se convierte en un cuerpo superexpandido, llamado *gigante roja*. Cuando la secuencia principal está a punto de terminar, el hidrógeno que queda en el núcleo cesa su rápida fusión. La mayor parte del hidrógeno ha sido ya consumida y en su lugar hay helio. Además, la disminución de esta intensa actividad térmica significa que la corteza ya no es alimentada con los enormes niveles de energía radiada que necesita para equilibrar la fuerza de la gravedad. La estrella comienza a contraerse otra vez. Sin embargo, las reacciones termonucleares se perpetúan alrededor del núcleo, en una corona cuyas dimensiones aumentan a medida que el consumo de hidrógeno se acentúa. El núcleo ya no participa activamente en la vida del astro, aunque su temperatura sigue siendo muy elevada (ya que la corona activa de hidrógeno que le rodea no le permite irradiar ese calor, e incluso le comunica mucho más, de forma que su temperatura aumenta progresivamente). Como consecuencia de este espectacular calentamiento de su región central y de la enorme presión que se crea, se frena el mecanismo de la contracción y la estrella es objeto de una extraordinaria dilatación, convirtiéndose en una gigante cuyo radio puede ser hasta cinco veces superior al del Sol. Cuando las temperaturas superficiales de la estrella alcanzan valores tan bajos como 3.000-4.000 K (grados Kelvin), el gas adquiere un color netamente rojo. Ello explica el nombre de *gigante roja* dado a este tipo de estrella. Ha duplicado por lo menos sus dimensiones iniciales y puede tener un diámetro de hasta 160 millones de kilómetros. Además tiene una luminosidad de aproximadamente 1.000 veces la del Sol.

Pero las presiones del núcleo siguen siendo elevadas, originando temperaturas superiores a 100.000 K (grados Kelvin). De este modo se inicia una segunda reacción de fusión, que esta vez utiliza helio, carbono y oxígeno como productos principales. Además, debido a la gran temperatura, gran parte del helio que queda en el núcleo pierde sus electrones. Los científicos han descubierto que esos electrones, atrapados en un ambiente de alta presión, se comportan como un metal con una rigidez equivalente a la del acero. Esto conlleva problemas para la estrella, ya que mien-



El Sol se encuentra en el interior de nuestra Galaxia, un conglomerado de cientos de miles de millones de estrellas dotado de un diámetro de aproximadamente cien mil años-luz en la parte luminosa. El Sol se encuentra aproximadamente a treinta mil años-luz del centro. Alrededor de dicho centro brillan muchas de las estrellas visibles a simple vista. Todas esas estrellas, y el mismo Sol, se encuentran en órbita alrededor del centro de la Galaxia. El Sol emplea aproximadamente doscientos cincuenta millones de años en cubrir su órbita alrededor del centro galáctico. Las estrellas que ahora se encuentran cerca de él pueden estar en órbitas circulares o elípticas, y en este caso, aunque la distancia sea pequeña, en lugar de tener velocidades similares pueden tener velocidades muy elevadas o muy bajas. Mediante el criterio de la velocidad se pueden distinguir las estrellas en órbita galáctica y cercanas al Sol de las estrellas lejanas. Las mediciones de la velocidad son a menudo corroboradas con las de la naturaleza física de las estrellas.

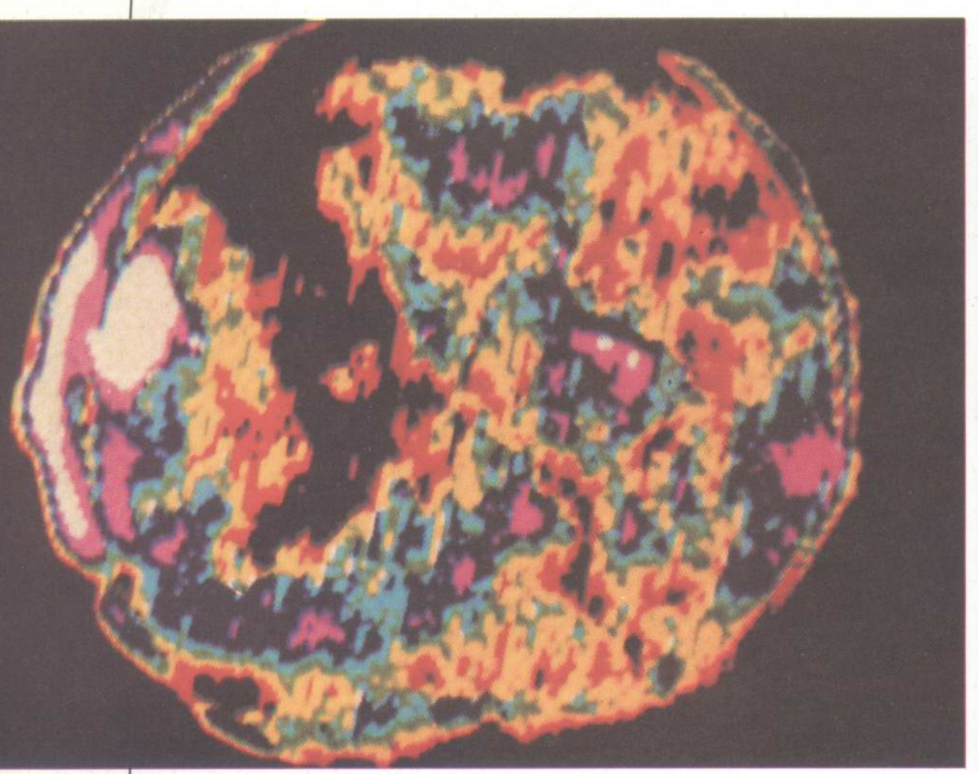
tras las temperaturas aumentan y el helio sigue fusionándose, la expansión del núcleo se frena e incluso puede llegar a contraerse. El resultado, a las pocas horas del comienzo del proceso de fusión, es una tremenda explosión nuclear, conocida como *relámpago del helio*.

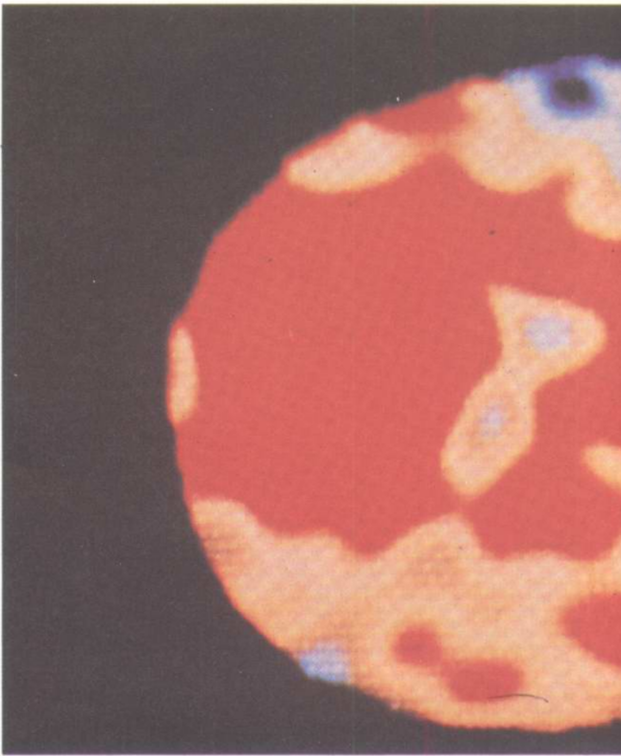
El relámpago del helio consiste en una enorme reacción en cadena, que nunca llega a fragmentar la estrella, pero que da lugar a una intensa emisión de radiación hacia la corteza gaseosa, reduciendo así las presiones en el núcleo y permitiendo que el helio siga en condiciones de comportarse como un gas normal. Se podría decir que la gigante roja está simplemente "descargando su exceso de vapor". Sin embargo, la aparición del núcleo de carbono significa que el fin de la vida de la estrella está próximo. Poco después del relámpago del helio, se produce una nueva contracción, que lleva a la estrella a una zona del diagrama espectro-luminosidad parecida a la de la secuencia principal. La estrella está agotadando su combustible y a partir de ahora pueden ocurrir muchas cosas.

Enanas blancas y supernovas La primera posibilidad atañe a las estrellas pequeñas, con una masa inferior a la del Sol. La combustión gradual hace que la envoltura experimente una expansión que la aleja del núcleo de carbono caliente. El núcleo, desprovisto de su envoltura, se convierte en una miniestrella extremadamente densa y que se designa con el nombre de *enana blanca*. Es más pequeña que la Tierra, pero miles de veces más densa. No puede evitar el seguir ardiendo hasta agotar todas sus reservas de combustible, momento éste en que comienza a palidecer, dando lugar a una masa gris de materia apagada.

Veamos ahora qué sucede con aquella estrella de masa superior a la del Sol. Por lo general, cuando una de estas estrellas agota sus reservas de una determinada clase de combustible nuclear, empieza a quemar los restos de cenizas de la combustión anterior. Así, una vez agotado el hidrógeno, comienza a quemar el helio, dando lugar a carbono. La combustión del carbono produce oxígeno, éste se convierte en neón, el neón en magnesio, el magnesio en azufre, y el azufre en hierro. El final de cada proceso suele dar lugar a un período de gran inestabilidad estructural, produciéndose, por lo general, grandes colapsos gravitatorios que, al incrementar enormemente las presiones sobre el núcleo, aumentan su temperatura, creando así las condiciones térmicas idóneas para que el siguiente proceso de fusión tenga lugar. Pero una vez llegado al hierro, a partir de las reacciones de fusión termonuclear, el proceso se detiene, ya que tanto la fusión como la fisión nuclear de éste son reacciones que absorben energía en vez de liberarla. La estrella ha alcanzado, pues, un estado en el que sólo puede disponer de su energía potencial o gravitatoria. Comienza entonces a contraerse, pero, al hacerlo, se incrementa la temperatura del núcleo, que intenta contrarrestar el aumento de la presión gravitatoria con un aumento de la presión de la radiación emitida por él. En este estado de equilibrio entre la presión de origen gravitatorio que las capas exteriores ejercen sobre el núcleo y la presión de radiación que éste ejerce sobre las capas exteriores, la más ligera perturbación puede dar origen a una explosión catastrófica. Si esto sucede, se dice que la estrella se ha convertido en una *supernova*. Es el fenómeno más brillante conocido, y es capaz de iluminar, incluso de día, el cielo de la Tierra durante semanas.

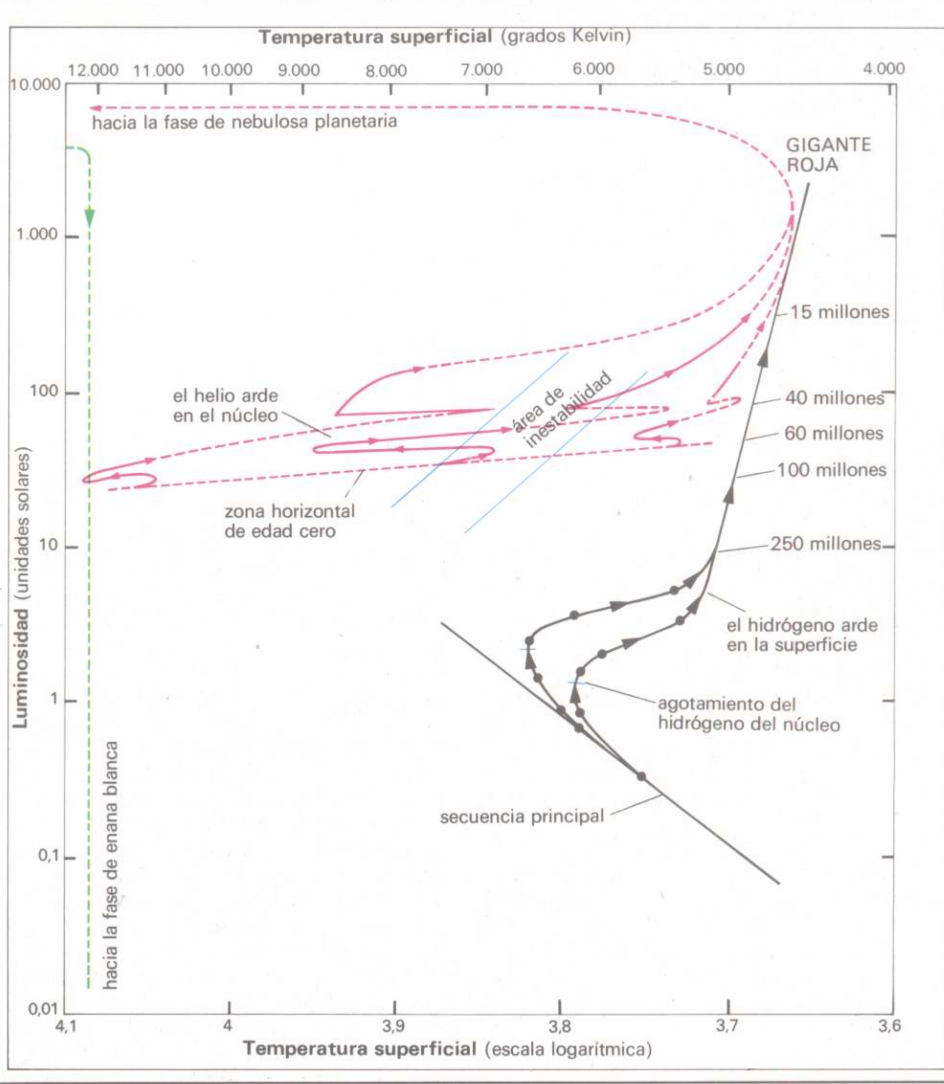
Los astros resultantes de las explosiones de supernovas figuran entre los cuerpos más misteriosos que estudia la Astronomía. Los datos observados no comenzaron a encajar dentro de las formulaciones teóricas hasta el año 1967, cuando Jocelyn Bell, de la Universidad de Cambridge, detectó una señal de radio periódica procedente del centro de la nebulosa del Cangrejo (residuo de alguna supernova). Lo que descubrió, en realidad, era un *pulsar* (estrella radio pulsante), y su aparente formación confirmaba la existencia de minúsculos núcleos estelares supercomprimidos. Al estallar como una supernova, la mayor parte de la materia de la estrella es proyectada al espacio: desde los escasos restos de hidrógeno y helio hasta los elementos más pesados, resultantes de los



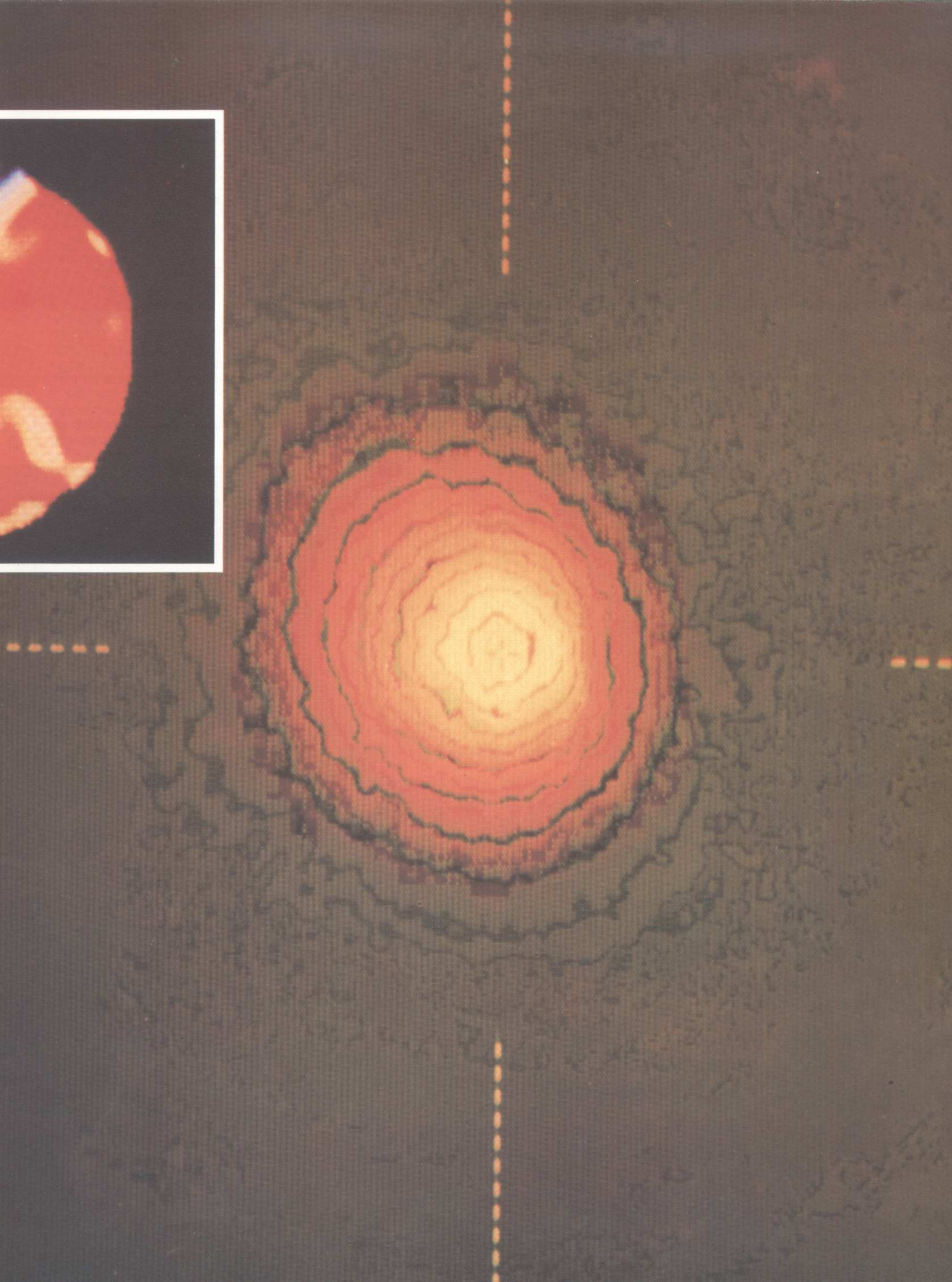


procesos de transmutación nuclear que tuvieron lugar en la estrella, sólo queda un único fragmento, tan pequeño que puede medir unos pocos kilómetros de diámetro, pero enormemente pesado y denso. Se trata de una *estrella de neutrones*, un núcleo de neutrones calientes que se mantienen unidos mediante intensas fuerzas de origen nuclear. Se hallan tan comprimidos que 1 centímetro cúbico de esta materia pesaría casi 100 millones de toneladas en la Tierra.

Los agujeros negros Uno de los posibles destinos con que puede encontrarse una estrella moribunda es el de convertirse en un *agujero negro*. Si una gigante roja de enorme masa explotase proyectando sus gases hacia zonas alejadas del espacio, la presión resultante sobre su núcleo podría ser tan grande que el rescoldo final haría parecer ligera, incluso, a una estrella de neutrones. Se obtendría un objeto estelar con una atracción gravitacional tan fuerte que ni siquiera los fotones podrían escapar de él. Cualquier cosa que se acercase a uno de estos objetos sería absorbida por su masa en cuestión de instantes. Sobra decir que los científicos nunca los han visto, pero algunas pruebas teóricas y de observación indican insistentemente su existencia. La evolución hasta convertirse en un agujero negro podría ser un modelo de la seguida por la mayor parte de las gigantes rojas.



Véase **Agujero negro; Astrofísica; Cosmología; Diagrama de Hertzsprung-Russell; Estrella nova; Estrella supernova; Estrella variable; Estrellas dobles**



Estrella nova

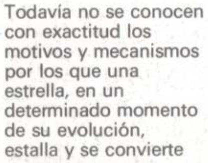
El término *nova* procede del título de un libro, el *De Nova Stella*, escrito por el gran pionero de la Astronomía, Ticho Brahe. La "nueva estrella" de Ticho Brahe, como todas las novas, era, sin embargo, muy vieja; una estrella en el estado final de su evolución, que había recibido el calificativo de "nueva" sólo porque antes de 1572 era demasiado débil como para llamar la atención de nadie. En aquel año, repentinamente, la estrella se inflamó, alcanzando una luminosidad que, en términos astronómicos, se mide asociándole una magnitud aparente de –4,1. En realidad, lo que Ticho Brahe observó es lo que hoy se conoce como una supernova, es decir, la explosión cataclísmica de una estrella, el fenómeno más violento entre todos los, hasta hoy, registrados en el Universo.

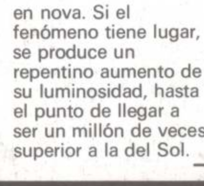
Las novas son estrellas que repentinamente aumentan su luminosidad, como consecuencia de una colosal explosión que se produce en su interior y que da lugar a la proyección al espacio exterior de enormes cantidades de material estelar. Durante estos terroríficos fenómenos, algunas novas llegan a alcanzar una luminosidad de hasta un millón de veces mayor que la original y, además, en cuestión de pocos días. Una vez alcanzada la máxima luminosidad, la nova puede palidecer rápidamente, o bien, en casos excepcionales, mantener su brillo durante varios meses.

El descubrimiento de las novas El primer astrónomo que registró la aparición de una nova fue Hiparco, el padre de la astronomía griega. El gran interés que este fenómeno despertó en él le indujo a diseñar el primer mapa estelar. En la actualidad, los astrónomos mantienen una actitud de continua vigilancia, valiéndose de potentes telescopios, ante la aparición de novas, llegando a registrar casi una docena por año.

Una de las grandes dificultades que entraña el estudio de las novas es su imprevisibilidad; entre los miles de millones de estrellas que son observables por medio de los grandes telescopios, una de ellas, inesperadamente, explota como una nova. De entre las novas registradas hasta el momento, sólo una de cada siete había sido catalogada como pre-nova, aproximadamente la misma proporción de aquellas novas que, tras la explosión, recuperan su luminosidad original, suficiente como para poder ser observadas visualmente.

Cuando una nova es descubierta, los astrónomos registran sus variaciones de luminosidad mediante la ayuda de un gráfico que proporciona la curva de variación de la magnitud con respecto al tiempo. Como resultado de las observaciones y estudios realizados, se ha acordado el criterio de clasificarlas, "grosso modo", en dos categorías: las *novas veloces* y las *no-*



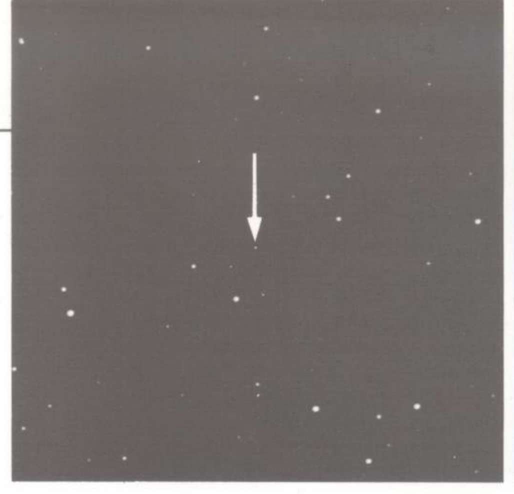


Todavía no se conocen con exactitud los motivos y mecanismos por los que una estrella, en un determinado momento de su evolución, estalla y se convierte en nova. Si el fenómeno tiene lugar, se produce un repentino aumento de su luminosidad, hasta el punto de llegar a ser un millón de veces superior a la del Sol. →

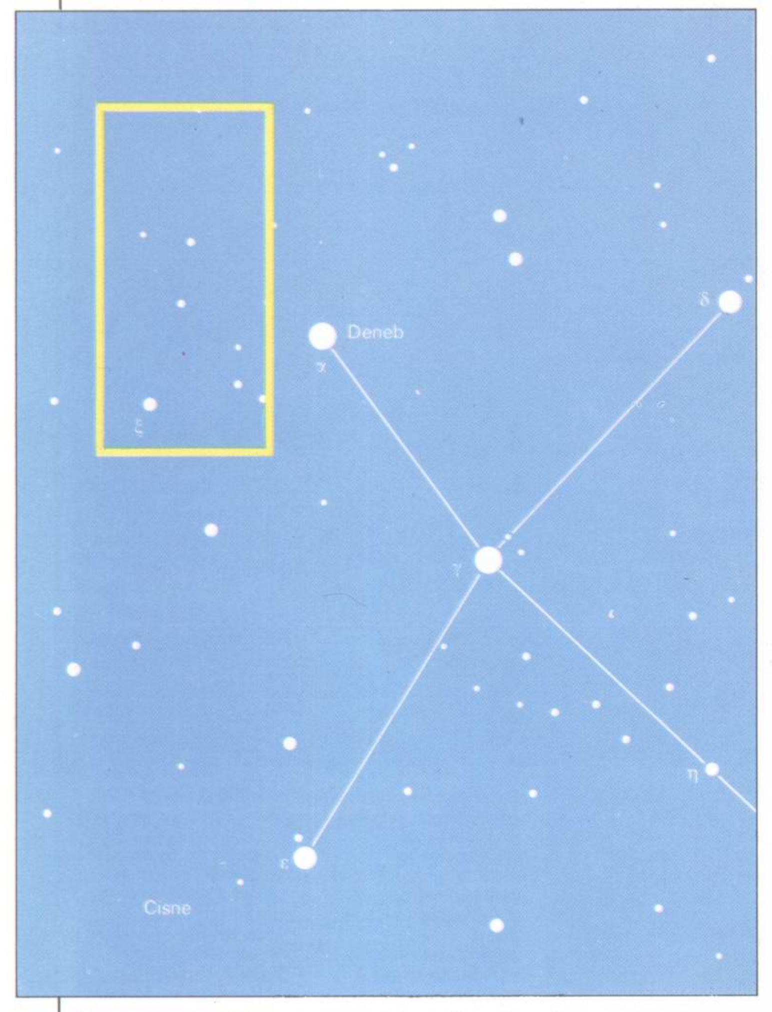


→ Durante la explosión, la estrella puede emitir una energía análoga a la irradiada por el Sol durante los últimos 10.000 años; en unidades físicas, esta energía equivale a la enorme cantidad de 10^{46} ergios. Existen muchas y diferentes teorías destinadas a explicar la explosión que parece originar el espectacular fenómeno de las novas, aunque tiende a creerse que se trata de algo parecido a un hundimiento de la estrella sobre sí misma, gastando en unos días la energía destinada a durar millones de años. Una hipótesis alternativa y puramente mecánica que permita explicar las explosiones que dan lugar a las novas se basa en indicios de que muchas de ellas constituyen sistemas binarios peculiares. Según ese modelo, una de las dos componentes, tras sufrir un proceso de envejecimiento, se convierte en una enana blanca, es decir, alcanza un estado en el que la estrella se encuentra fuertemente contraída y donde ha agotado las posibilidades de producir energía mediante procesos termonucleares. Debido a la intensa contracción sufrida, su densidad es muy elevada, hasta un millón de veces superior a la del agua. Aunque poca, sigue conservando cierta luminosidad, que puede ser hasta 10.000 veces inferior a la del Sol. Su diámetro es muy pequeño, casi similar al de la Tierra, es decir, una centésima parte del radio solar. En consecuencia, la gravedad sobre su superficie es enorme. Su compañera, por el contrario, ha sufrido un proceso de envejecimiento distinto, según el cual se ha convertido en una gigante roja. Las dos se hallan describiendo órbitas, una alrededor de la otra. Bajo ciertas condiciones, es posible que parte del material de la envoltura externa de la gigante roja penetre en la zona de influencia gravitacional de la enana blanca, que se extiende hasta lo que se conoce como *Límite de Roche;* entonces, como bien puede apreciarse en la ilustración, la gigante roja se deforma y adquiere un nuevo aspecto, parecido al de una pera o una gota de agua, por cuya punta se produce la fuga desordenada de enormes cantidades de materia. Como consecuencia de la elevada gravedad, la masa de gas arrebatada a la gigante va a caer en la enana blanca; la caída no tiene lugar según la vertical exactamente, sino que describe un movimiento espiral de avance alrededor de ésta. A medida que desciende, va ganando energía, que se traduce en un aumento cada vez mayor de su temperatura. Finalmente, la gran masa gaseosa alcanza el núcleo de la enana blanca, disponiéndose en forma de disco, alrededor de ésta. En ese momento, la energía total absorbida durante la caída se ha transformado íntegramente en energía calorífica y, por tanto, la temperatura del gas es tan enorme que da lugar a la emisión de una gran cantidad de radiación, que se proyecta al espacio exterior y anuncia el nacimiento de la nova.

vas lentas. Las primeras se caracterizan porque alcanzan muy rápidamente la luminosidad máxima, se mantienen en este estado durante un período de tiempo relativamente breve y, en pocos años, vuelven a recuperar su primitiva luminosidad. Por el contrario, una nova lenta puede alcanzar el estado de máxima luminosidad incluso en un mes, y pueden transcurrir muchos años antes de que vuelva a su estado anterior. Un ejemplo de nova veloz lo constituye una estrella en la constelación de Perseo que, en 1901 y en sólo un intervalo de 90 horas, aumentó medio millón de veces su luminosidad. Transcurridas dos semanas desde el inicio de su explosión, su luminosidad se había atenuado considerablemente, alcanzando el nivel 4 de magnitud, estado éste en el que se mantuvo durante once años, exceptuando breves intervalos intermedios en los que se apreciaron ciertas fluctuaciones irregulares en su luminosidad. Transcurrido ese período de once años, recobró su aspecto inicial.



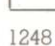




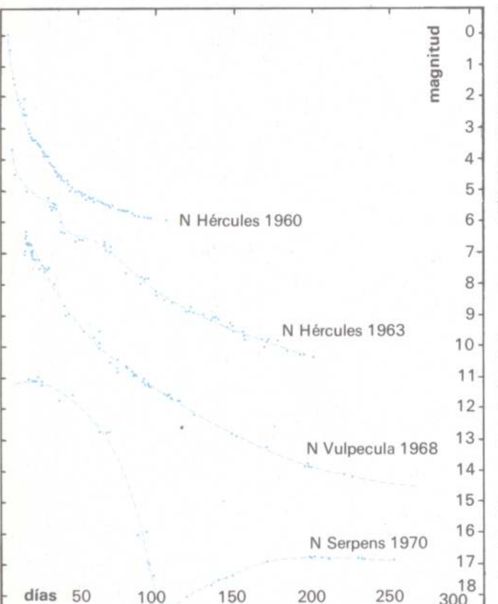
Una estrella nova se identifica mediante un código en el que consta el año de su aparición, precedido por el nombre de la constelación a la que pertenece. El descubrimiento de una nova, reservado casi exclusivamente a aquellos que examinan el cielo con asiduidad, suele realizarse sobre placas fotográficas con gran amplitud de campo. Por regla general, quien registra →

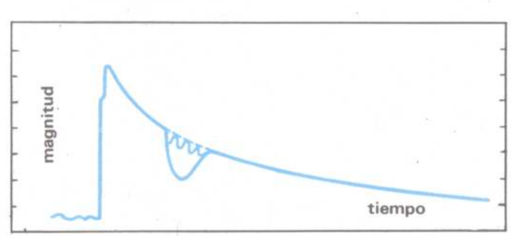
En 1909, una nova lenta de la constelación de la Serpiente atrajo la atención de los astrónomos, al emplear un mes en alterar su magnitud desde 14 hasta 11 (lo que equivale a un aumento de 7,5 veces su luminosidad). Se mantuvo en este estado de máxima luminosidad hasta 1924 y tras otros quince años recobró su estado normal de magnitud 14.

Ultimamente, se ha distinguido una nueva clase de novas, aunque muy reducida, ya que hasta el momento sólo se han podido identificar unos 6 ejemplares que admitan ser catalogados en ella. Son estrellas que han sufrido una larga serie de



longitud de onda 3.613 Å 3.727 Å 3.889 Å 4.101 Å 4.340 Å 4.686 Å 4.861 Å 5.815 Å





NOVAS RECURRENTES DE AMPLITUD CARACTERISTICA			
Estrella nova	magnitud máx mín	amplitud	año de aparición
• T Coronae Borealis	2,0 = 10,8	8,8	1866-1946
• RS Ophiuchi	4,8 – 11,8	7,0	1898-1933 1958-1967
• T Pyxidis	7,0 – 14,5	7,5	1920-1944 1966
• WZ Sagittae	7,0 – 15,5	8,5	1913-1946
• V1017 Sagittarii	6,2 – 14,4	8,2	1901-1919
• U Scorpii	8,8 – 18	9,2	1866-1906 1936

→ la aparición de una nova suele dar conocimiento inmediatamente a un observatorio, que, a su vez, mediante un telegrama, informa a un centro especial de la Unión Astronómica Internacional. Aquí se registra el descubrimiento y se procede a su notificación a todos los observatorios del mundo. Como es natural, el período más importante de la observación lo constituyen los primeros momentos del desarrollo de la nova, es decir, las horas iniciales en las que tiene lugar el impresionante aumento de su luminosidad. En la página anterior, fotografía central izquierda, se observa la región en la que apareció la nova Cisne en 1975, una estrella que tras explotar y convertirse en nova llegó a alcanzar una luminosidad similar a la de Deneb, la estrella más luminosa del Cisne. A su derecha, fotografía de la constelación en que se registró la presencia de una nova luminosísima, que en muy poco tiempo perdió su esplendor.

explosiones, en períodos de tiempo que oscilan entre los veinte y ochenta años, y que alternativamente se comportan como novas veloces o como novas lentas. Una nova de este tipo fue descubierta el año 1898 en la constelación de El Serpentario *(Ophiuchus)*. Explotó nuevamente, siempre como nova, en 1933 y en 1958.

Magnitudes Los astrónomos han promediado los valores de las magnitudes absolutas de las novas (obtenidos mediante un análisis comparativo de las novas de nuestra galaxia con las de otras galaxias próximas) y han llegado a la conclusión de que la magnitud absoluta media de una estrella pre-nova es de aproximadamente 4, llegando a aumentar su luminosidad tras convertirse en nova, hasta el punto de alcanzar una magnitud de –7,6 (que corresponde a un aumento de luminosidad de casi 20.000 veces la original).

En la Vía Láctea, las novas parecen concentrarse a lo largo de una estrecha franja comprendida entre los 10° sobre el plano galáctico y los 10° bajo el mismo, observándose una zona de máxima concentración en las proximidades del núcleo central. Análogamente, las novas observadas en la galaxia de Andrómeda, situada a unos 2,2 millones de años-luz de distancia, presentan una distribución semejante.

Hoy día, gran parte de las alertas sobre el inicio de estos esporádicos fenómenos son resultado de la constancia de los cada vez más numerosos astrónomos aficionados. Por ejemplo, en la noche del 29 de agosto de 1975, un aficionado japonés, Kentaro Osara, descubrió una nova en la constelación del Cisne. Casi simultáneamente, el fenómeno fue también registrado por otros astrónomos. Apenas se puso el hecho en conocimiento de los encargados del observatorio de Tokio, estos informaron del acontecimiento al Departamento Central de recepción de Telegramas Astronómicos de Cambridge, Massachusetts (EE UU). Este, a su vez, transmitió el descubrimiento a todos los observatorios dispersos por todos los continentes. De esta manera los científicos pudieron, desde los primeros momentos, seguir el desarrollo de la nova, cuando ésta no había alcanzado todavía el máximo de su luminosidad. La nova Cisne (*Cygni*), como fue bautizada, fue así la nova más detalladamente estudiada en la historia de la Astronomía.

Véase **Diagrama de Hertzsprung-Russell; Estrella**

Estrella supernova

El fenómeno celeste conocido por el nombre de "explosión de una supernova" constituye probablemente el espectáculo más bello que se pueda observar en el Universo. La *supernova* consiste en la explosión de una estrella de gran masa, y dicho fenómeno puede alcanzar un nivel de luminosidad equivalente a 1.000 millones de veces la luminosidad de nuestro Sol, lo que corresponde también a la débil luminosidad de ciertos tipos de galaxias. Este proceso de explosión estelar puede tener lugar en un período de tiempo muy breve: en el caso de la supernova observada por los astrónomos chinos y japoneses en el año 1504, la explosión duró pocas semanas. En el curso de aquella explosión, que dio lugar a lo que hoy es la Nebulosa del Cangrejo, todo el cielo nocturno fue iluminado por la luz procedente de la estrella.

Evolución de las estrellas La supernova es la etapa final de una evolución de estrellas de gran masa, por lo general mucho más grandes que nuestro Sol. Estas estrellas, como todas las demás, con el paso del tiempo agotan también su reserva de combustible. Su interior, lleno de hierro en estado gaseoso y de otros elementos, sirve en cierto modo como depósito, muy volátil, de combustible. A medida que ese combustible se consume, las fuerzas gravitacionales que las distintas partes de la estrella ejercen sobre el núcleo se van haciendo proporcionalmente más elevadas que las fuerzas estabilizadoras que el núcleo ejerce hacia el exterior, debidas a la enorme presión producida por las reacciones nucleares de su interior. Por otro lado, la pérdida de energía debida a esta radiación emitida a través de la superficie de la estrella continúa siendo muy elevada, millares de veces superior a la de nuestro Sol. Cuando las fuerzas gravitacionales que actúan sobre el interior de la estrella toman completamente la supremacía respecto a las fuerzas internas, la estrella comienza a "implosionar", es decir, a colapsar sobre sí misma. El efecto del colapso inicial es un inmediato aumento de la temperatura, que viene acompañado por la transformación en helio de los elementos más pesados contenidos en el interior de la estrella. El colapso continúa; el interior es cada vez más denso y llega un momento en que el calor de la superficie alcanza un nivel tal, que los combustibles nucleares restantes no pueden resistirlo. En una repentina explosión, toda la superficie de la estrella es lanzada y dispersada por el espacio, a miles o decenas de miles de kilómetros por segundo. Simultáneamente, la parte central del astro sigue colapsando sobre sí misma, ya que la explosión le ha proporcionado una enorme cantidad de energía y calor. Finalmente, si este núcleo residual de la estrella queda intacto, acabará convirtiéndose en una estrella de neutrones.

Estrellas de neutrones *(pulsares)* y agujeros negros Las estrellas de neutrones, o *pulsares*, son estrellas compactas, muy densas, de gran energía. Son tan densas que si fuese posible extraer un metro cúbico de la materia que las constituye, pesaría del orden de 10^{18} kilogramos, o sea, 10^{15} toneladas. Los *pulsares*, que fueron descubiertos en 1967, son estrellas de neutrones que giran muy rápidamente sobre sí mismas, por efecto de la energía recibida durante las explosiones de las supernovas. Estas estrellas emiten fuertes señales de radio de forma intermitente, con un ritmo que se halla estrechamente ligado a la velocidad de rotación de la estrella sobre sí misma. El *pulsar* de la Nebulosa del Cangrejo tiene un radio más pequeño que el de la Tierra, pero su densidad es varios millones de veces superior a la de ésta. Gira sobre sí mismo 30 veces por segundo, lo que representa, para un objeto de sus dimensiones, una velocidad extremadamente elevada.

Si una estrella en estado de "implosión" sigue colapsando sobre sí misma sin que nada detenga ese proceso, el resultado final es la formación de un *agujero negro*.

La supernova (en la página anterior, su evolución) consiste en la explosión de una estrella de gran masa, con una intensísima luminosidad. Si la estrella tenía una masa no superior a siete veces la del Sol, queda un residuo gaseoso en cuyo centro se encuentra un *pulsar*. Si su masa fuese mayor, originaría un agujero negro. A la derecha, la Nebulosa del Cangrejo, cuya historia "comienza" en China, en el 1504, cuando aparece en el cielo una estrella tan brillante como para ser visible incluso de día. Era una supernova. En el centro de la Nebulosa del Cangrejo ha sido localizado un *pulsar,* o estrella de neutrones. Estas estrellas emiten señales de radio sintonizadas en toda la gama de ondas electromagnéticas, y su rápida rotación hace que estas señales sean percibidas como una serie regular de relámpagos. En esta página, abajo, los filamentos rojizos de la nebulosa Vela, que es lo que queda de una supernova que explosionó hace unos 10.000 ó 20.000 años.



Los agujeros negros son estrellas extremadamente pequeñas cuya densidad (y, consecuentemente, cuya gravedad) es tan intensa que de su tremendo campo gravitacional no puede escapar ni la luz.

Otros residuos de supernovas La materia despedida durante las explosiones de las supernovas sigue expandiéndose indefinidamente hacia el interior, inicialmente con una velocidad entre los 10.000 y 20.000 km por segundo, que disminuye gradualmente. Aunque en un cierto momento parece alcanzar una condición de reposo, en realidad la expansión no cesa jamás. La radiación emitida por los restos de la supernova, que suele constituir una nebulosa, es visible ópticamente o localizable con aparatos receptores de las ondas de radio, de rayos X o de las ondas gamma.

Véase **Agujero negro; Estrella; Estrella nova**

Estrella variable

Durante una paciente observación del firmamento, es posible captar ciertas irregularidades que a veces se presentan en estrellas aisladas o en grupos de estrellas. Dichas irregularidades se manifiestan en forma de cambios en la luminosidad (brillo) de la estrella observada y pueden producirse repetidamente con un ritmo regular o de forma sumamente errática. Muchas estrellas, el Sol por ejemplo, son cuerpos relativamente constantes en lo que respecta a su emisión, y la cantidad de energía radiada por ellos sufre solamente pequeñas fluctuaciones.

Por otro lado, algunas estrellas —que aún no han alcanzado la secuencia principal o que se acercan a su término— experimentan a veces "parpadeos" que constituyen una gran atractivo. Se trata de las *estrellas variables*, que han sido subdivididas en distintas categorías según su comportamiento y características.

Algunas de estas estrellas suministran datos útiles para la comprensión del nacimiento, la vida y la muerte de los astros.

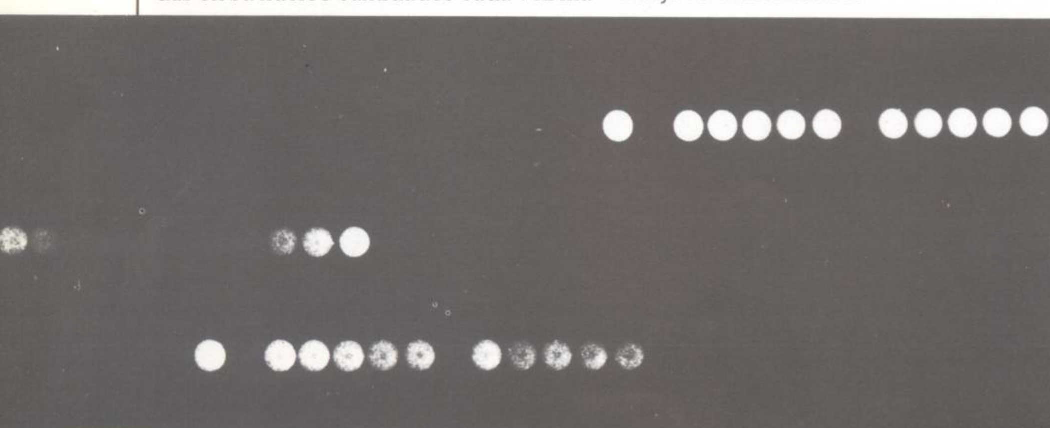
Variables de la pre-secuencia principal Una estrella, antes de entrar en la secuencia principal, está constituida por una pesada nube de polvo e hidrógeno molecular, siendo conocida con el nombre de *protoestrella*. En un tiempo, también nuestro Sol era una protoestrella, antes de que las fuerzas gravitacionales la hicieran colapsar sobre sí misma, generándose en ese proceso las elevadísimas temperaturas y presiones necesarias para iniciar las reacciones termonucleares que le dieron vida. Cuando ocurre esto, es decir, cuando la estrella comienza a radiar energía, da comienzo su primera fase variable. Su centro, en el que ha comenzado la reacción nuclear, está rodeado por tal cantidad de polvo y de partículas que, al principio, ni siquiera las radiaciones pueden escapar de la superficie del astro. Al aumentar las radiaciones, se alcanza un punto crítico en el que toda la estrella parece tomar, repentinamente, vida, algo así como una bombilla que se enciende. Han sido observados dos "encendidos" de este tipo, el primero en 1937 y el segundo en 1969. Los científicos concuerdan en suponer que se trata de estrellas jóvenes, ya que desde el momento de su primera observación han seguido brillando regularmente.

Variables pulsantes y cefeidas A medida que madura la estrella, son quemadas en su núcleo cantidades cada vez mayores de hidrógeno y de helio. Al irse agotando estos combustibles nucleares, se origina una disminución general de la temperatura interna y se produce un período de inestabilidad, que suele venir acompañado de un colapso gravitatorio. Ello representa el final de la estancia en la secuencia principal, que puede dar paso a varias posibilidades, según el tamaño original de la estrella. Por ejemplo, una estrella puede entrar en una fase de corta duración, comprendida entre la secuencia principal y lo que se ha dado en llamar la etapa de "gigante roja" de su vida. En este caso, las condiciones físicas que determinan el estado de gigante roja dan lugar a pulsaciones en la estrella, que, a su vez, son responsables de las variaciones de luminosidad de la misma.

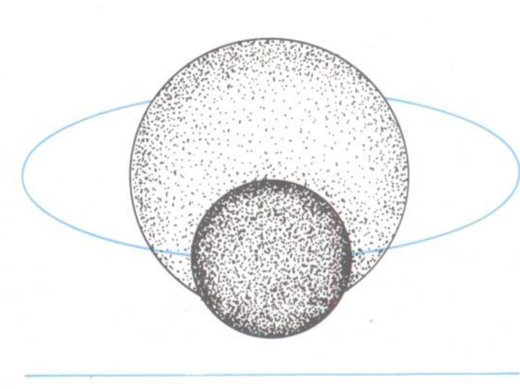
Una estrella es algo así como una enorme máquina térmica en la que la superficie oscilante cumple las funciones de una válvula que libera las presiones producidas durante el colapso gravitacional. Se contrae y se expande como un gigantesco muelle esférico que en cada oscilación sobrepasa su posición natural de equilibrio para después volver a ella, prolongándose dicho comportamiento durante millones de años. Lo que vemos desde la Tierra no es una estrella que aumenta y disminuye de tamaño, sino una estrella cuya luminosidad aumenta y disminuye sucesivamente.

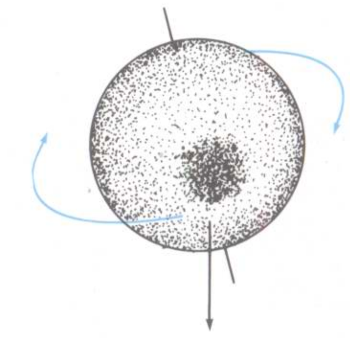
La Estrella Polar es una estrella variable pulsante con un período de aproximadamente 4 días (su luminosidad tiene un aumento aproximado del 9%, volviendo a la normalidad en el período mencionado).

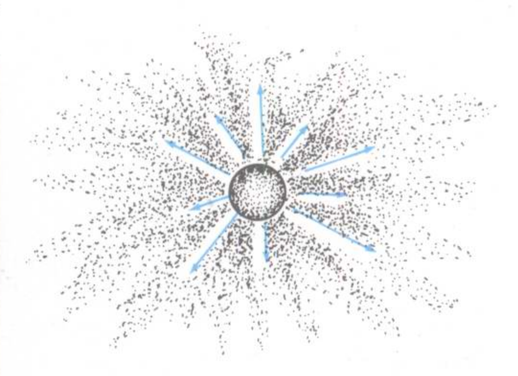
La inestabilidad se manifiesta de muy diversas formas, obedeciendo a mecanismos que no han sido todavía comprendidos. Es posible que estas estrellas variables o *cefeidas* (que han tomado el nombre de la primera variable pulsante observada, Delta de Cefeo) puedan caer en un estado de pulsación regular de su superficie esférica, capaz de justificar las fluctuaciones rítmicas observadas en su luminosidad. Algunos científicos piensan, sin embargo, que este comportamiento de origen estructural afecta no sólo a las cefeidas, sino que muchas estrellas, a lo largo de su curso evolutivo, atraviesan un período donde se producen estas pulsaciones anómalas, y que corresponde al paso de la vida de la estrella por una región bien definida del diagrama de Hertzsprung-Russell, conocida por el nombre de *franja de inestabilidad*.

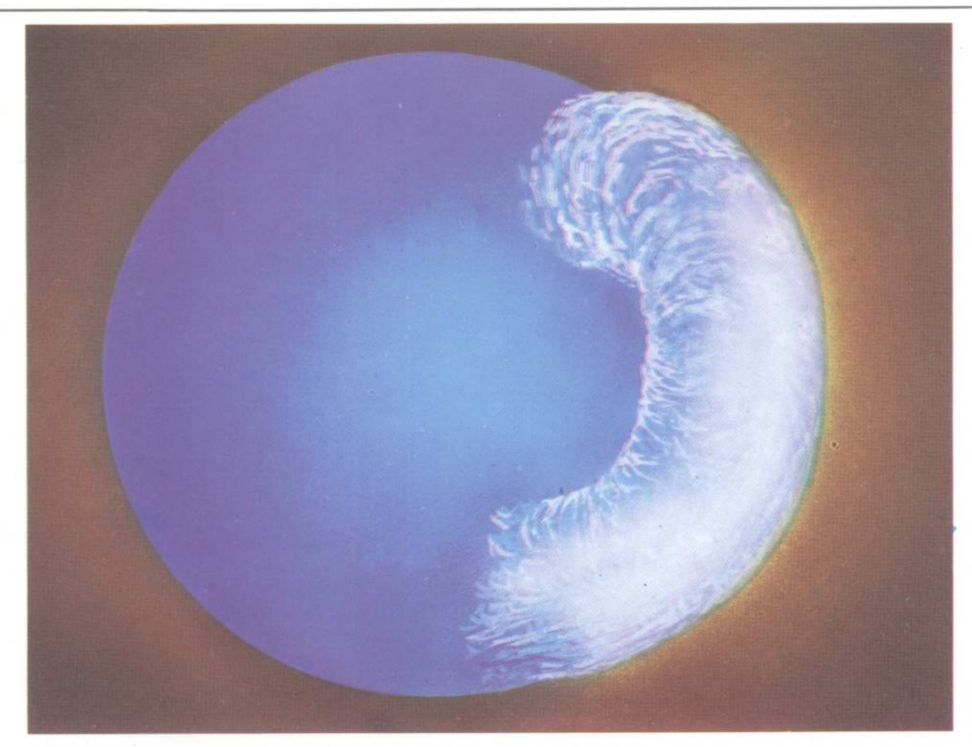


En esta página, abajo a la izquierda, uno de los métodos de estudio de la variabilidad estelar. Si la estrella en cuestión es suficientemente luminosa, se fija en el campo de mira de un astrógrafo, tomándose una serie de imágenes sucesivas de la estrella, siempre sobre la misma placa. Entre una y otra toma se detiene el telescopio, a fin de evitar que se superpongan las imágenes. Después, se comparan las imágenes de la estrella estudiada con las del campo estelar; de dicha comparación se puede deducir si ha habido variaciones o no. Sin embargo, este método es adecuado únicamente para variaciones lentas. Más a la derecha, justo bajo estas líneas, tres motivos de variabilidad estelar: arriba, una pseudovariable o variable eclipsante. La variación de su luminosidad se debe al paso, por delante del astro, de otro de menor luminosidad, que origina un eclipse parcial. En el centro, una zona del disco estelar a menor temperatura. Por efecto de la rotación, la estrella presenta una disminución periódica de su luminosidad cuando esta zona se sitúa en la línea de observación. Abajo, una estrella emite un chorro de gas que barre las nubes de polvo de su alrededor, originando variaciones en su luminosidad. A la derecha de estas líneas, una espectacular erupción en la cromosfera de una estrella, que da lugar a un súbito aumento del brillo, intenso pero efímero, ya que puede durar, incluso, unos pocos minutos.



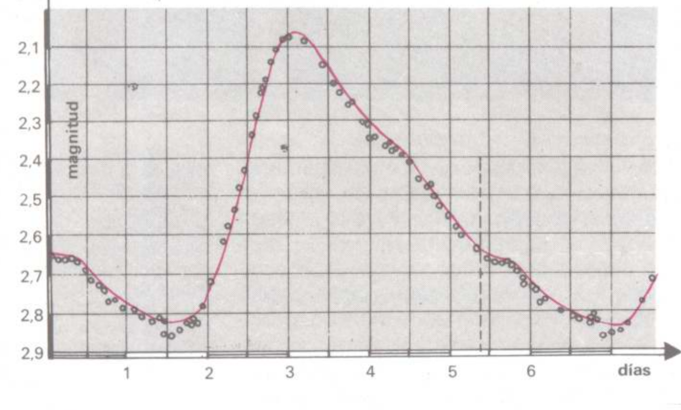


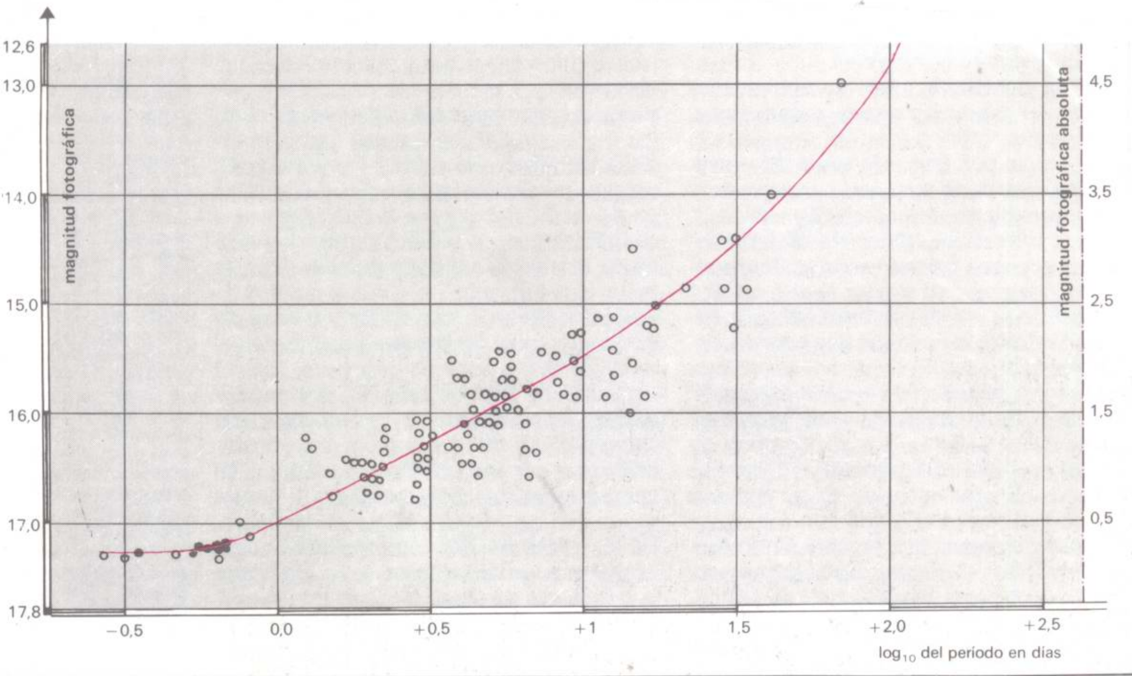




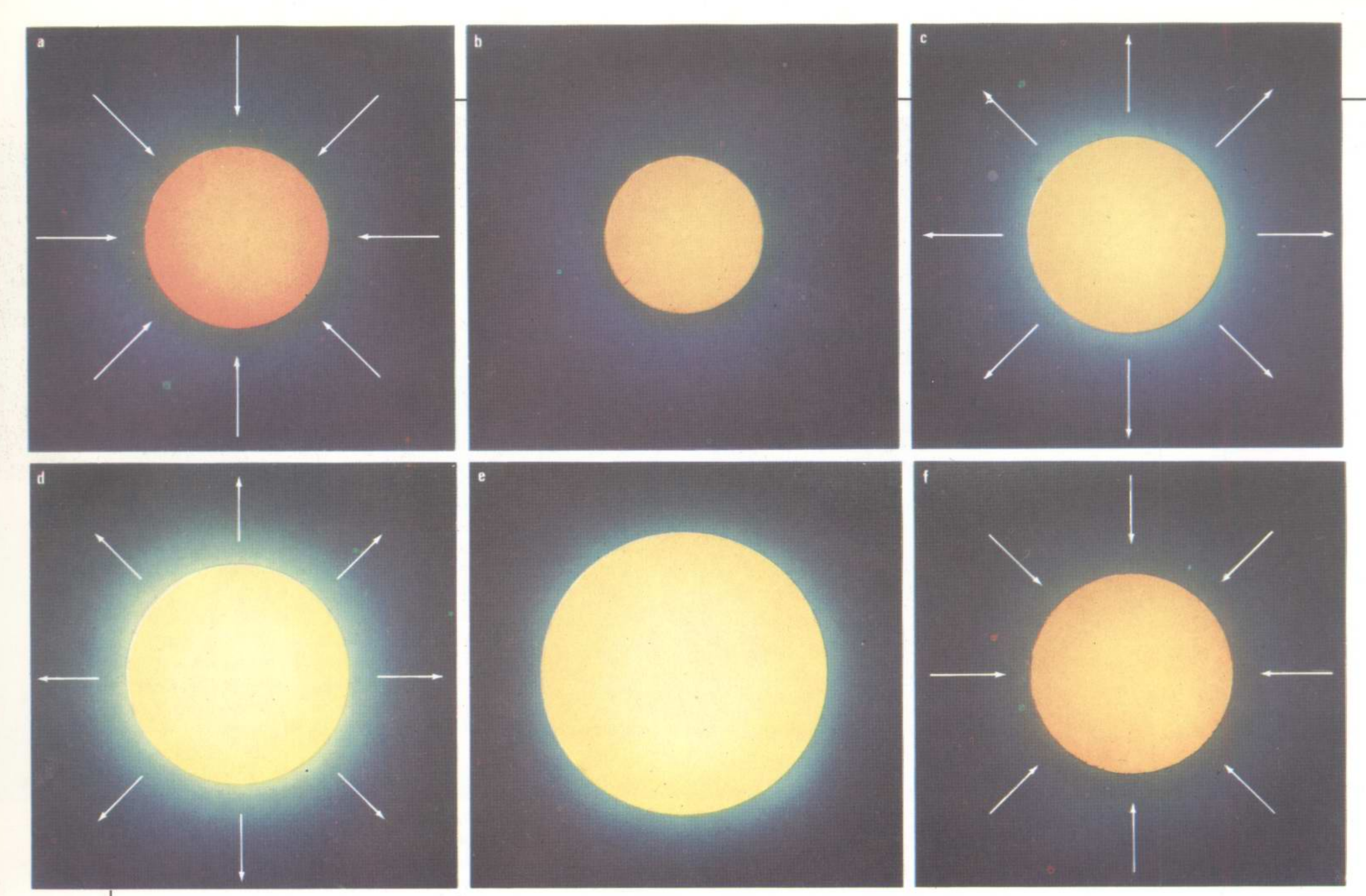
Variables de destello (*flare stars*) Otro tipo de estrella variable, muy irregular, que se da entre estrellas de distinta clase y magnitud, lo constituyen las estrellas que, ocasionalmente, muestran un fuerte brillo. Son astros que carecen de pulsaciones pero que de vez en cuando experimentan radicales variaciones en su luminosidad. Los astrofísicos teóricos sostienen que determinadas alteraciones en el campo magnético de la estrella pueden producir ondas de choque supersónicas que se propagan hacia el exterior a través de la atmósfera de la estrella. Dichas ondas de choque podrían arrancar de la superficie estelar enormes cantidades de plasma, originando un intenso y repentino aumento de la luminosidad del astro. También el Sol ha mostrado a veces un comportamiento de este tipo, aunque a pequeña escala. En este sentido, probablemente todas las estrellas pueden ser consideradas como variables, dentro de ciertos límites.

Novas Hay que tener en cuenta que los fenómenos considerados hasta ahora se refieren a estrellas que han evolucionado mediante procesos internos propios, es decir, de una naturaleza que podríamos definir como "genética." Existen, sin embargo, casos de variabilidad que pueden ser debidos a la reacción de una estrella frente a la proximidad de otro astro. Algunas estrellas destellantes o *flare stars*, conocidas como *novas*, forman parte de sistemas binarios o, dicho de otra manera, son características de los sistemas de estrellas dobles, en los que dos astros giran





Un tipo muy importante de estrella variable es el que recibe el nombre de la primera variable estudiada, Delta, de la constelación de Cefeo. Estas variables se llaman *cefeidas*. Se identifican por la forma de su "curva de luz", es decir, del diagrama que representa la luminosidad de la estrella en función del tiempo. Una curva de luz típica de las cefeidas aparece en el gráfico de la derecha, mostrando su característica forma en diente de sierra. Efectivamente, la curva sube rápidamente y tiene un descenso más lento. Durante años los astrónomos mantuvieron la llamada "teoría de la pulsación", según la cual las variaciones observadas en la luminosidad de las cefeidas eran la prueba de elevación y colapso de la superficie de la estrella, es decir, de que ésta se dilataba y contraía alternativamente. Esta interpretación resulta un tanto esquemática e insuficiente, ya que, según se ha demostrado, dichos cambios en las dimensiones no pueden justificar las variaciones de brillo observadas. Es más factible suponer que éstos se deban a cambios en la → temperatura superficial. Existe una gran relación entre el período y la luminosidad de una variable cefeida. Se ha comprobado que cuanto mayor es el período de una de éstas, mayor es su luminosidad. El diagrama de abajo muestra la relación entre luminosidad absoluta y período (en el eje de abscisas).



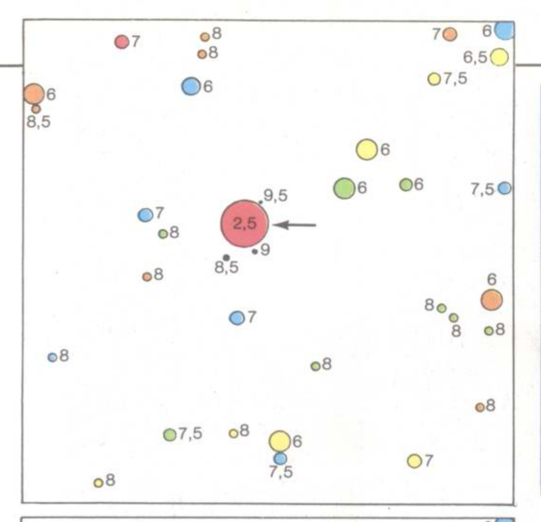
cada uno alrededor del otro. Los científicos consideran que cuando una de dichas estrellas ha evolucionado hasta convertirse en una enana blanca (estado en que la energía termonuclear ha dejado prácticamente de producirse y la envoltura gaseosa externa se ha expandido completamente alejándose del núcleo, que queda agonizante y convertido en un cuerpo relativamente pequeño), y la otra estrella se encuentra todavía en la secuencia principal, algunas circunstancias particulares pueden dar lugar al nacimiento de un tipo especial de estrellas variables.

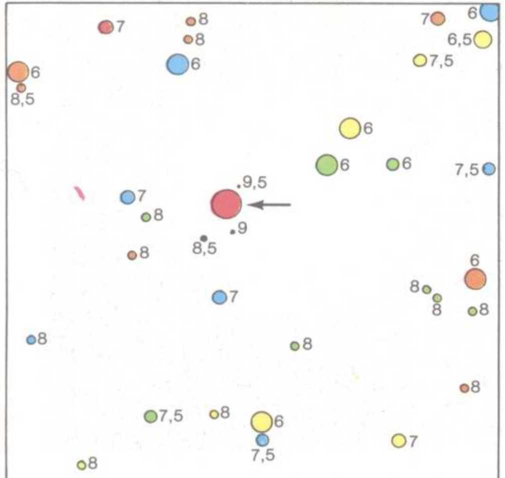
Teóricamente, lo que ocurre es muy simple. La fuerte atracción gravitacional de la enana blanca (que es una estrella muy densa; por tanto, su masa es elevada) atrae parte de la materia perteneciente a la envoltura de su estrella vecina. A medida que dicho tráfico de materia aumenta, la enana blanca entra en un período de inestabilidad similar al que originó la pérdida de su envolvente gaseosa externa. De todo esto resulta una enorme explosión, y la estrella se convierte en una *nova*. Como consecuencia de la explosión, toda la materia sustraída a su vecina es lanzada al espacio. De ese modo, la enana blanca vuelve a estabilizarse y el proceso se repite. Explosiones de novas de este tipo se han observado con intermitencias que van de los treinta a los cincuenta años. Más "definitivas", desde el punto de vista evolutivo, son las explosiones de las estrellas de enorme masa, explosiones conocidas con el nombre de *supernovas*.

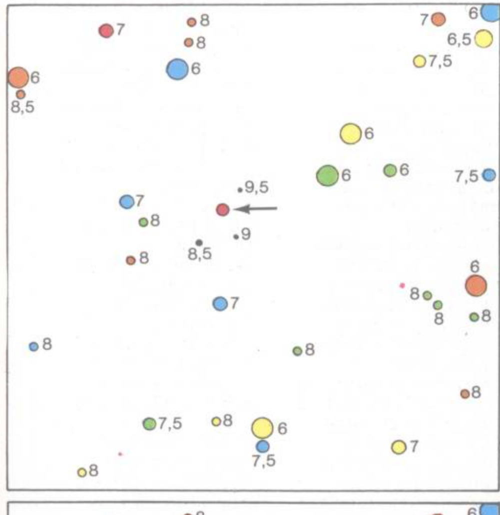
Supernovas Básicamente, la explosión de una supernova es una espectacular reacción gravitacional y nuclear que señala la muerte de una gigante roja: en general, es la explosión de una estrella con una masa al menos cuatro veces superior a la del Sol. Durante dicha explosión, la parte exterior de la estrella es lanzada al espacio, dejando atrás un núcleo colapsado, muy pequeño, pero tremendamente denso, conocido como *estrella de neutrones*. Aunque de dimensiones menores que las de la Tierra, la estrella de neutrones tiene una masa y una densidad tan elevadas que una cucharadita de la materia de la que está constituida pesaría cientos de toneladas. En algunos casos, la estrella de neutrones puede convertirse en un *pulsar* (estrella radio-pulsante), que es una estrella variable, en lo que respecta a sus emisiones de radio, aunque no pulsa en el sentido físico de la palabra. Lo que hace es girar sobre sí misma emitiendo periódicamente, como un faro, un haz de ondas diversas, fundamentalmente de radio, que barre, intermitentemente, todo el espacio. El descubrimiento del primer *pulsar*, en el centro de la Nebulosa del Cangrejo, constituyó un paso muy significativo en la investigación astronómica. En primer lugar, dio credibilidad a la teoría que predicaba la existencia de las estrellas de neutrones. En segundo lugar, constituyó una verificación de la teoría sobre la naturaleza de las explosiones de supernovas. En el caso del *pulsar* existente en la Nebulosa del Cangrejo, la explosión

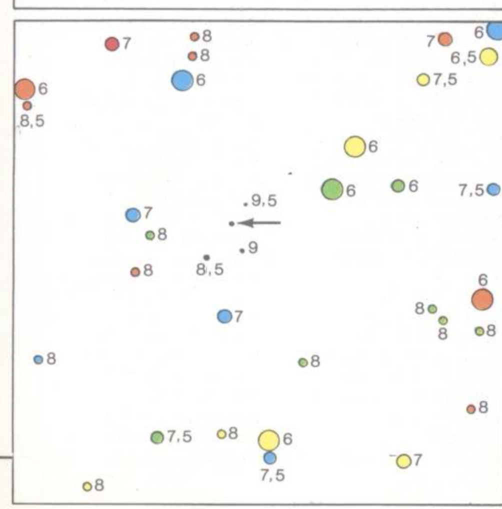
Sobre estas líneas, fases de la variación de una estrella pulsante. Se denomina *variable intrínseca* para distinguirla de las que deben sus variaciones a una causa externa. En a) la estrella, en máxima dilatación, se contrae; su superficie radiante es máxima pero su temperatura es baja; la estrella no es muy luminosa. En b) ha alcanzado el diámetro mínimo y la comprensión comienza a calentarla. La materia caliente se encuentra en el centro de la estrella, que tiene un tamaño pequeño y una temperatura superficial baja; su luminosidad es aún pequeña. En c) se calienta y aumenta de diámetro, de forma que el aumento de luminosidad, debido a los dos factores que se suman, es rápido. En d) se llega al máximo de luminosidad, y en e) se alcanza el diámetro máximo, aunque ya ha comenzado la disminución de luminosidad que se prolongará a lo largo de toda la fase de contracción, f), a partir del cual el ciclo se repite.

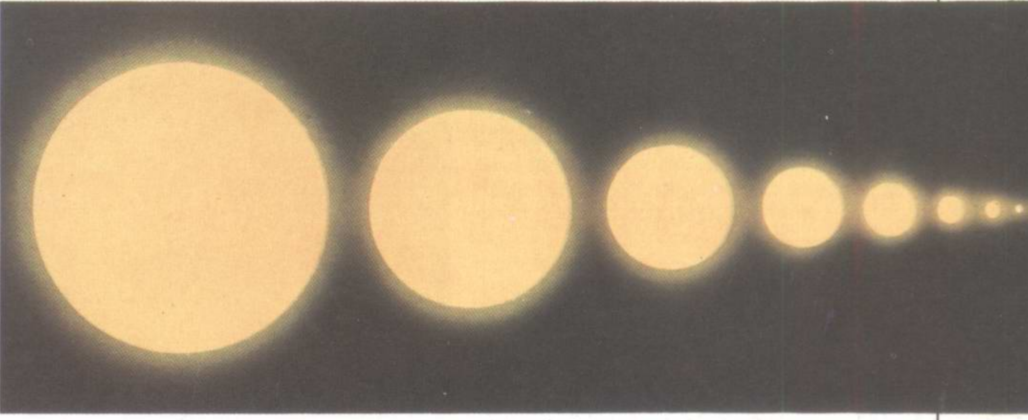
En la página siguiente, los pequeños "mapas" muestran la zona del firmamento que rodea a la famosa variable semirregular Omicron, de la constelación de la Ballena. Dicha estrella puede alcanzar en su máximo la magnitud estelar 2 y en su mínimo, la 9. Debido a este extraordinario margen de variación fue llamada *Mira, la "maravillosa"*. Sin embargo, a veces no alcanza la segunda magnitud en su máximo ni la novena en su mínimo, e incluso el período puede variar entre doscientos y más de trescientos días. La serie de "mapas" representados sirve para localizar la estrella en cualquiera de las fases de su variación de luminosidad y permite compararla con estrellas no variables de magnitud conocida. También Mira es una variable que se dilata y se contrae durante su variación; en gran parte, el cambio de luminosidad se debe a la variación en el tamaño de la superficie radiante y a la temperatura.





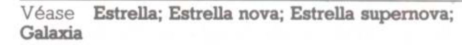




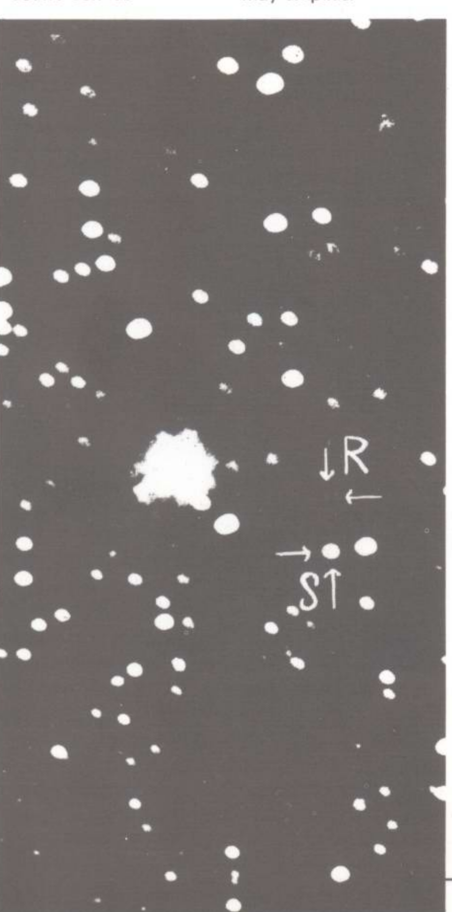


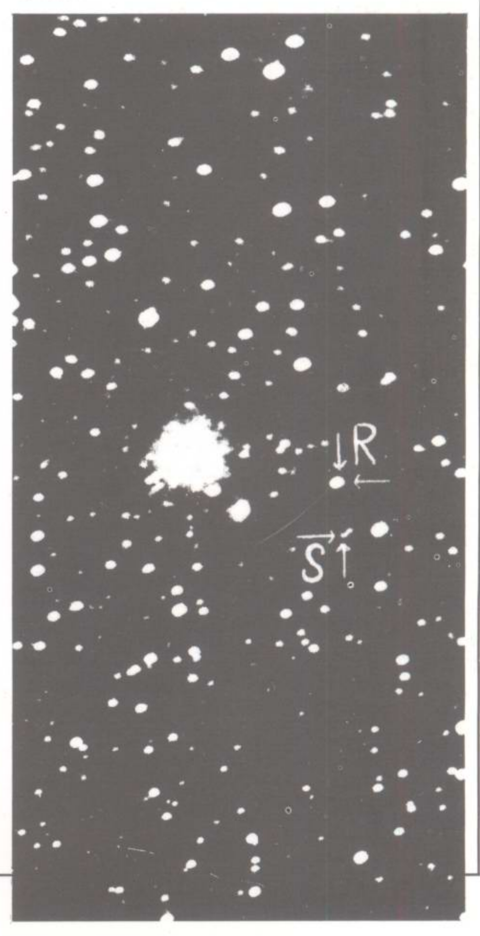
Arriba, variaciones de diámetro, y, a la vez, de luminosidad, de Mira. En las estrellas que tienen este mismo comportamiento, la variación de diámetro se puede seguir mediante un análisis espectroscópico de la luz. Esto pone de manifiesto que la superficie de la estrella se acerca (al dilatarse la estrella) o se aleja de nosotros (el diámetro de la estrella disminuye). Abajo, dos *variables cumulares*. Reciben este nombre las estrellas observadas en los cúmulos globulares o abiertos y que muestran variaciones de un tipo característico, como ocurre con las cefeidas. Su estudio resulta de gran utilidad para deducir, a partir de sus variaciones de luminosidad, el período y, a través de éste, la luminosidad absoluta. Una vez hallada la luminosidad absoluta, se puede relacionar matemáticamente con la luminosidad aparente (es decir, la que se observa) para calcular la distancia. La búsqueda de variables cumulares es delicada: son astros muy débiles, sólo observables con largas exposiciones y muy ampliadas. En el caso de estas fotografías, las dos estrellas, señaladas con R y S, ofrecen variaciones muy amplias.

que lo originó se produjo en el año 1054. Como estrellas variables, la aparición de una supernova es algo que sólo ocurre raramente, pero no hay duda de que es el más espectacular de todos los fenómenos del firmamento. Los astrónomos chinos que en el año 1054 observaron el fenómeno refirieron que éste iluminó el cielo nocturno durante semanas enteras. Desafortunadamente, la mayor parte de las explosiones de supernovas que se producen en nuestra Galaxia (se calcula que hay una cada diez años aproximadamente) resultan oscurecidas, y ocultadas a nuestra vista, por las mismas nubes de polvo y gases que proporcionan al conjunto de la Vía Láctea gran parte de su encanto nocturno y dan nombre a la galaxia.



Véase **Estrella; Estrella nova; Estrella supernova; Galaxia**





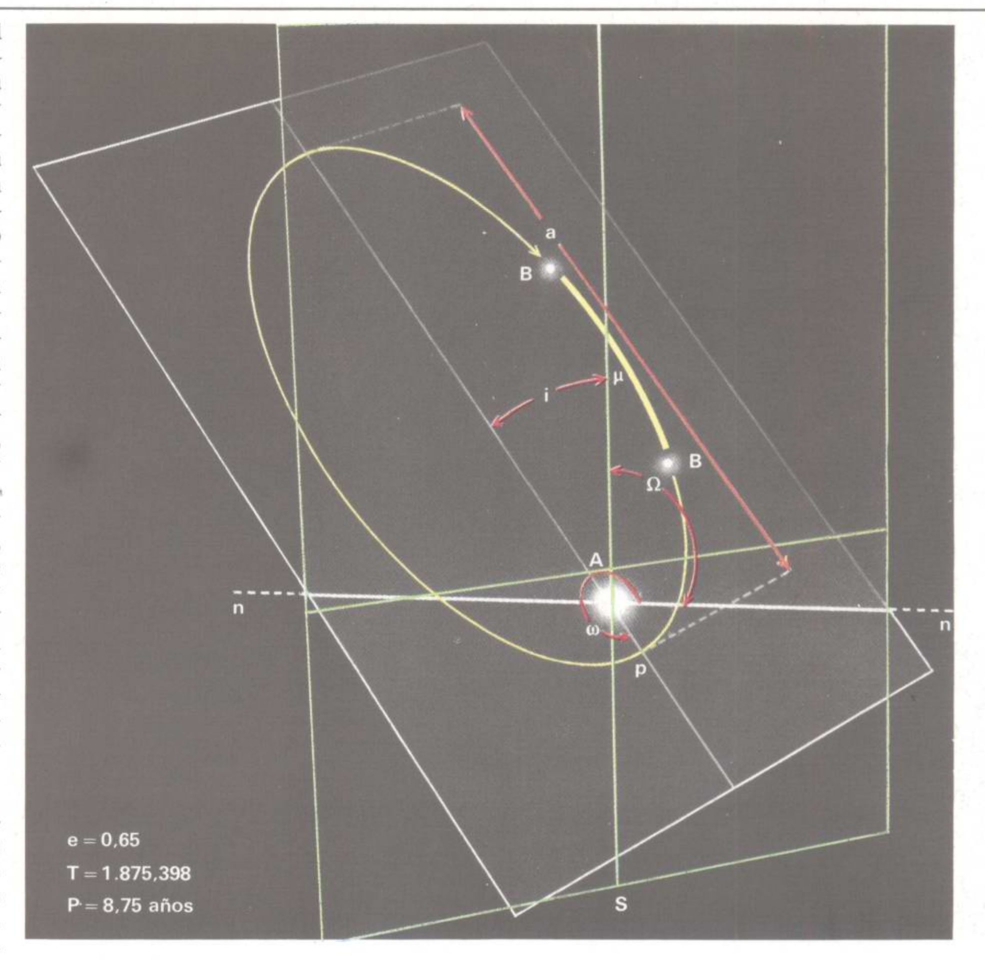
Estrellas dobles

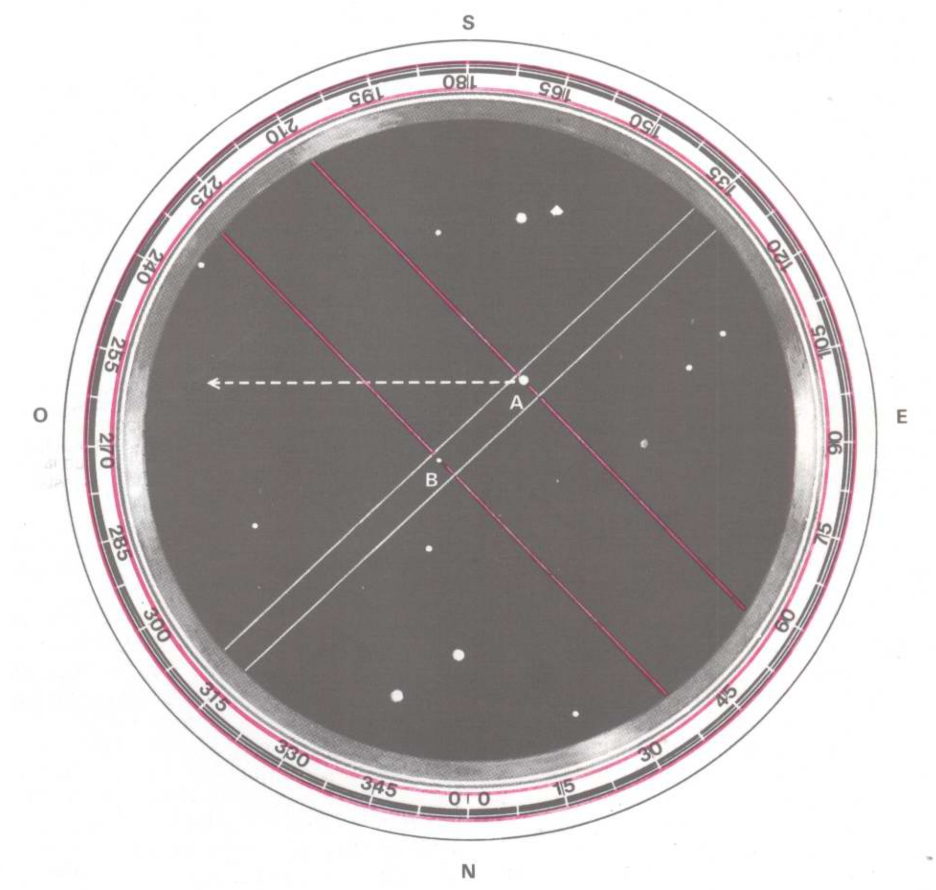
La estrella más cercana a la Tierra, el Sol, es un cuerpo de masa extremadamente grande, capaz de mantener, en órbitas distintas, un sistema de planetas y varios millones de pequeños objetos rocosos y asteroides. Ninguna otra estrella forma parte de este sistema, y si alguna vez hubiese existido alguna, las probabilidades de que la Tierra hubiese podido formarse tal y como la conocemos no habrían sido muchas. Los astrónomos han descubierto que es estadísticamente probable que las estrellas se reunan en parejas, con cada una de las componentes en movimiento orbital alrededor de la otra y ambas en movimiento alrededor del centro de gravedad del sistema que forman, más o menos como ocurre con la Luna y la Tierra, que giran alrededor de un centro de gravedad común. Estas estrellas, llamadas *estrellas dobles* o *estrellas binarias*, suministran muchas informaciones de gran utilidad sobre la evolución estelar y sobre la vida de las estrellas. Cualquier tipo de estrella, en cualquier etapa de su evolución, puede formar parte de un sistema binario y algunas condiciones estelares especiales se dan sólo cuando las estrellas en cuestión forman parte de un sistema de este tipo.

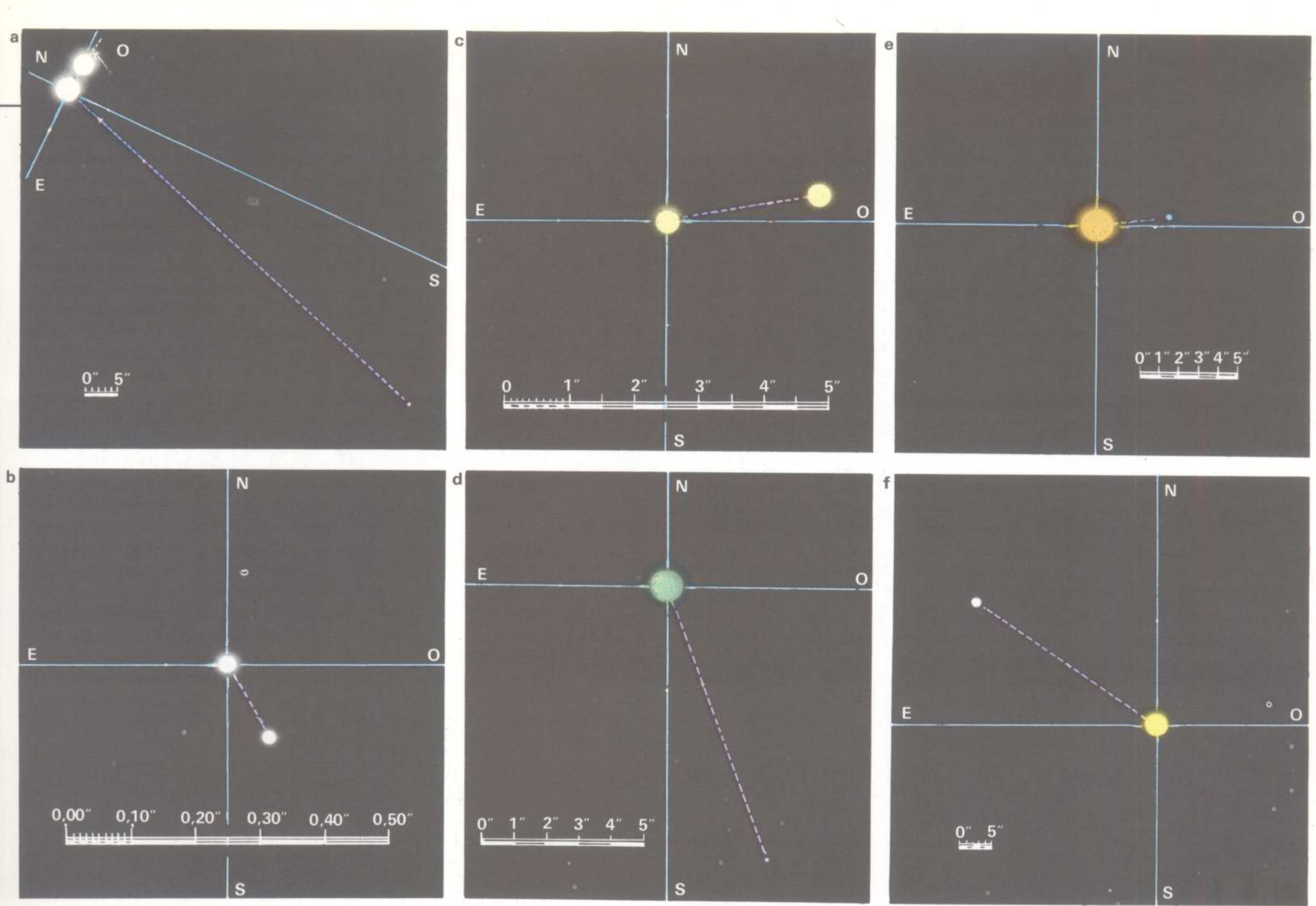
Determinación de las masas estelares La aplicación más inmediata de las observaciones de sistemas binarios se centra en la determinación de las masas de estrellas muy lejanas. Utilizando las relaciones matemáticas entre las características geométricas orbitales y los períodos orbitales —relaciones descubiertas hace tres siglos por Isaac Newton—, los astrónomos son capaces de calcular las masas de las dos estrellas que componen el sistema, aunque esto no es siempre un problema tan simple como mirar al cielo y registrar las variaciones de la posición y de la velocidad de la estrella. Cuando la masa de una estrella es conocida, pueden utilizarse otras informaciones relativas a su distancia y a su luminosidad para definir el tipo de estrella, en qué estado de su evolución se encuentra y lo que se puede esperar que les ocurra, a ella y a su compañera, en en futuro.

Observación de estrellas dobles Existen dos métodos básicos para la observación de estrellas dobles, y, según el método que sea posible utilizar, éstas se denominan *dobles visuales* o *dobles espectroscópicas*.

Una estrella doble visual es, precisamente, lo que el nombre sugiere: una pareja de estrellas que orbitan una alrededor de la otra y que pueden ser claramente distinguibles en el cielo nocturno con un telescopio. La ventaja del método consiste en que las estrellas se sitúan al alcance de nuestra vista y, así, las características orbitales y las velocidades con las que son descritas sus órbitas estelares se obtienen por observación directa. Si, además, se conoce la distancia del sistema, se puede determinar las dimensiones de las





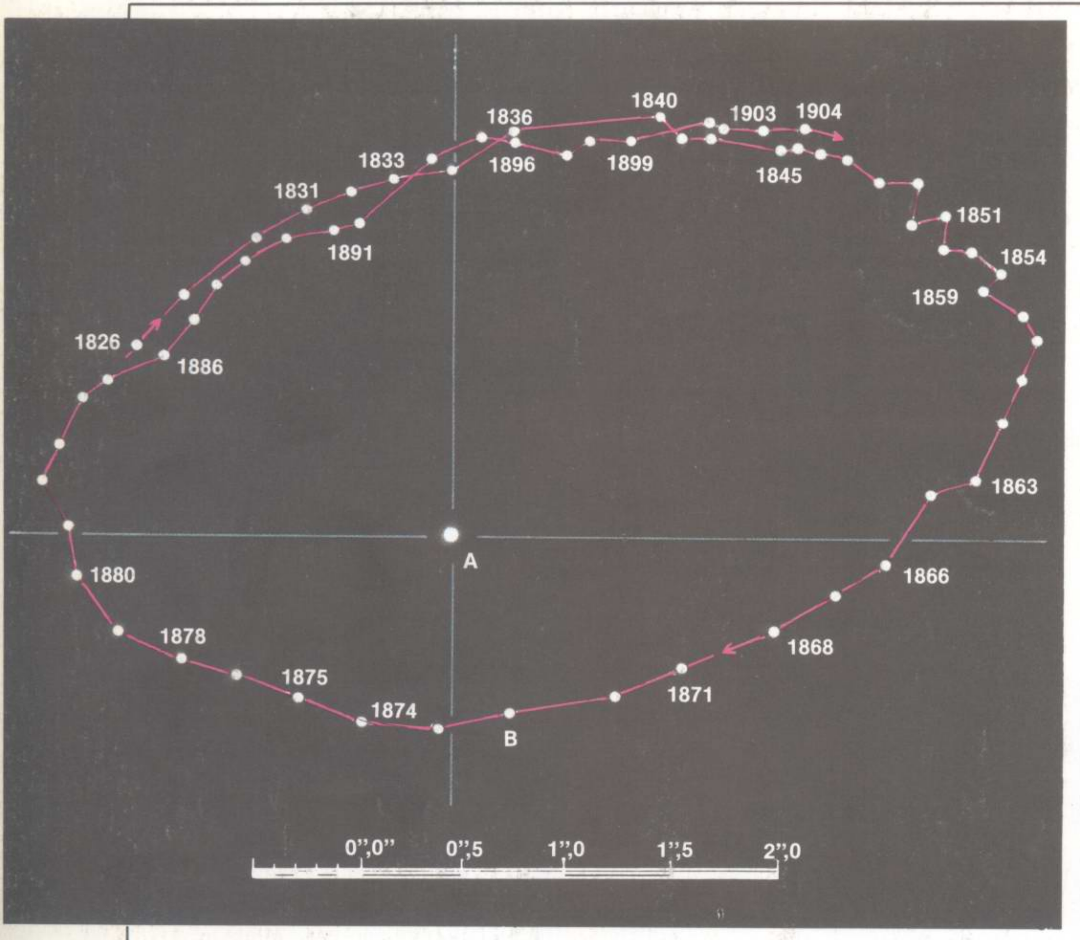


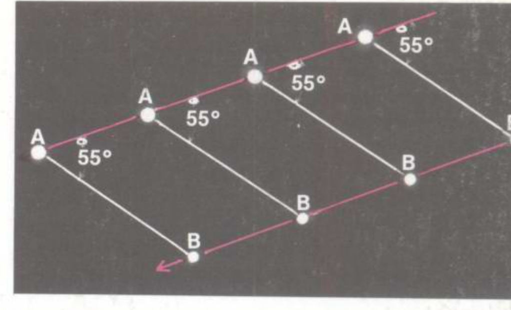
En la página anterior, arriba, método mediante el cual se descubre si una estrella es una "doble física" y se estudia su movimiento. Cada vez que se observan dos estrellas muy cercanas, se puede sospechar que la cercanía conlleva también una interacción gravitacional. Pero esto se confirma sólo con el movimiento de las dos estrellas alrededor de su centro común de gravedad. Por lo tanto, es necesario observar y volver a observar, al cabo de cierto tiempo, dichas estrellas para ver si están dotadas de movimiento relativo y si éste es periódico. La observación, si es visual, se realiza mediante el llamado *micrómetro ocular*, que se aplica al ocular del telescopio. La figura de abajo muestra cómo, en el campo del ocular, las dos estrellas se ven dispuestas con precisión a lo largo del eje de la banda formada por dos delgados hilos que pueden orientarse en la dirección deseada, girando una corona o accionando un tornillo micrométrico situado en el exterior del ocular. Otros dos hilos, perpendiculares a los primeros, pueden disponerse uno interseccionando la estrella A, y el otro, la B. Con las orientaciones de los dos primeros hilos se conoce el "ángulo de posición", y con la distancia entre los segundos, la "distancia angular aparente". Con el tiempo, si ambas varían de forma que las dos estrellas se mueven a lo largo de elipses, se tiene la certeza que se trata de una pareja física. Estas mismas mediciones se pueden realizar también mediante fotografías; para ello es necesario un telescopio de gran distancia focal. Los datos de las mediciones se dibujan después en un diagrama plano y, si se obtiene una elipse como resultado del movimiento de ambas estrellas, puede plantearse el cálculo que permite obtener la forma y la inclinación de la elipse verdadera. Desde la Tierra se ve la proyección de la elipse verdadera sobre la bóveda celeste. En la figura superior de la página anterior, se ve la elipse verdadera de una estrella doble cuya componente principal es de masa mucho mayor que la secundaria. Para esta pareja, *e* es la excentricidad de la órbita elíptica; *T* la fecha del paso por el periastro, es decir, el instante en que la estrella menor viene situarse a la mínima distancia de la mayor; *P* es el período de revolución. Sobre el plano en el espacio, el periastro es el punto indicado con *p*; *A*, la estrella principal, *B*, la secundaria; *a*, la longitud, expresada en segundos de arco, del eje mayor de la órbita; *i*, la inclinación del plano de la órbita respecto al plano tangente a la esfera celeste, *nn* es la línea de intersección entre estos dos planos; Ω, el ángulo entre la línea de los nudos *nn* y el norte celeste; ω es el ángulo del nudo *n* con el periastro *p*. Finalmente, μ es el movimiento medio angular anual de la componente B. Arriba, seis espléndidas estrellas dobles, casi todas bien observables, incluso con pequeños telescopios; (a) Castor; (b) δ Caballito; (c) γ Virgo; (d) Rigel; (e) Antares; (f) Albireo. En los mapas se indica la escala de las distancias, en segundos de arco, y el color de las componentes.

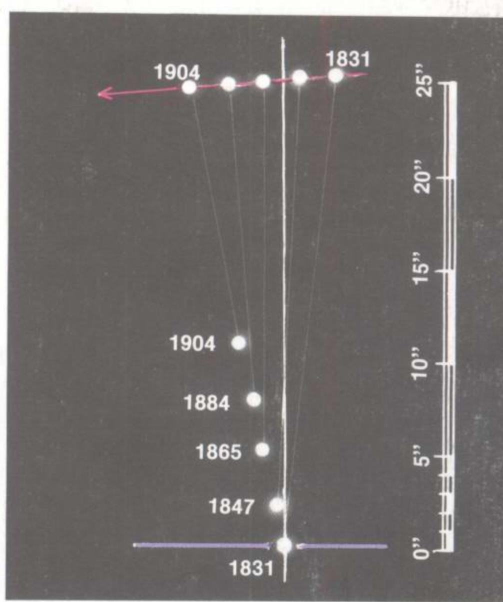
órbitas, la masa individual de cada una de las estrellas y la masa total del sistema. Un problema con el cual pueden tropezar los astrónomos aficionados a la búsqueda de estrellas dobles es que ciertas parejas de estrellas, aparentemente cercanas entre sí, pueden no estar físicamente relacionadas y encontrarse a gran distancia una de otra. Una estrella muy luminosa que parezca cercana a otra estrella puede, en realidad, encontrarse incluso a muchos años-luz de distancia. Si no presentan indicio de movimiento orbital, constituyen una *doble óptica*. Si sus movimientos están relacionados entre sí, se llaman *dobles físicas*, y si presentan movimiento orbital, *binarias visuales*. Al final, es probable que las dos estrellas se alejen una de otra.

Las estrellas dobles espectroscópicas han sido descubiertas y estudiadas mediante la espectroscopia estelar, técnica mediante la cual se registran incluso las radiaciones fuera de la banda visible (particularmente en la banda de las radio-ondas). Estas radiaciones nos proporcionan informaciones sobre estrellas que se encuentran demasiado alejadas o que son demasiado poco luminosas como para poder ser vistas con nitidez. En el caso de una binaria espectroscópica, pueden obtenerse informaciones por la forma y características de dichas radiaciones.

El efecto Doppler El indicio más inmediato de la presencia de una binaria espectroscópica consiste en la observación de un notable efecto Doppler con características particulares. Esto es debido a las variaciones que experimenta la velocidad de la luz procedente de la estrella. Por ejemplo, si una estrella se mueve lentamente en una órbita que la aleja de la Tierra y la otra se mueve en una órbita parecida, pero acercándose a la Tierra, se observará una clara diferencia entre las fre-







Arriba, a la izquierda, la órbita de una estrella doble física, es decir, de una pareja de estrellas ligadas por la atracción gravitacional mutua. Se trata de ζ Osa Mayor. Las dos estrellas de la pareja han sido seguidas durante muchos años, desde 1826 hasta 1904. Durante este período, la secundaria ha permanecido siempre cerca de la principal y ha descrito en el cielo una órbita elíptica. La posición relativa de la estrella secundaria respecto a la principal ha sido deducida por mediciones efectuadas con el micrómetro ocular. Exceptuando los errores de medida, se ve claramente que la estrella secundaria, a partir del año 1886, repite el camino ya recorrido y observado desde 1826. Esto confirma la relación entre las dos estrellas. Por otro lado, en la figura de la derecha, se muestra el caso de una pareja *óptica*, ya que la cercanía es aparente y debida a un fenómeno de perspectiva, es decir, la relación es óptica y no física. Cada estrella se mueve a lo largo de una trayectoria rectilínea, con velocidades distintas y direcciones inclinadas entre sí. La pareja de arriba, en cambio, está relacionada físicamente, como demuestra el hecho de que las dos estrellas se mueven con la misma velocidad y en la misma dirección; no son independientes.

cuencias de las radiaciones emitidas por ambas. Dicha diferencia (que no existiría si la velocidad fuese constante, como en el caso de una sola estrella o de un gran cúmulo) nos muestra, inequívocamente, que nos encontramos ante una estrella doble. Observando durante un cierto intervalo de tiempo las variaciones en la frecuencia debidas al efecto Doppler, se obtienen informaciones directas sobre las órbitas y sobre el número de estrellas que constituyen el sistema estelar (pueden ser más de dos).

Una complicación que suele presentarse durante la observación de las binarias espectroscópicas reside en el hecho de no poder garantizar que éstas orbiten en un plano en el cual el efecto Doppler pueda ser fácilmente interpretado. Incluso una ligera inclinación del plano orbital puede inducir a confusión en la interpretación de los datos.

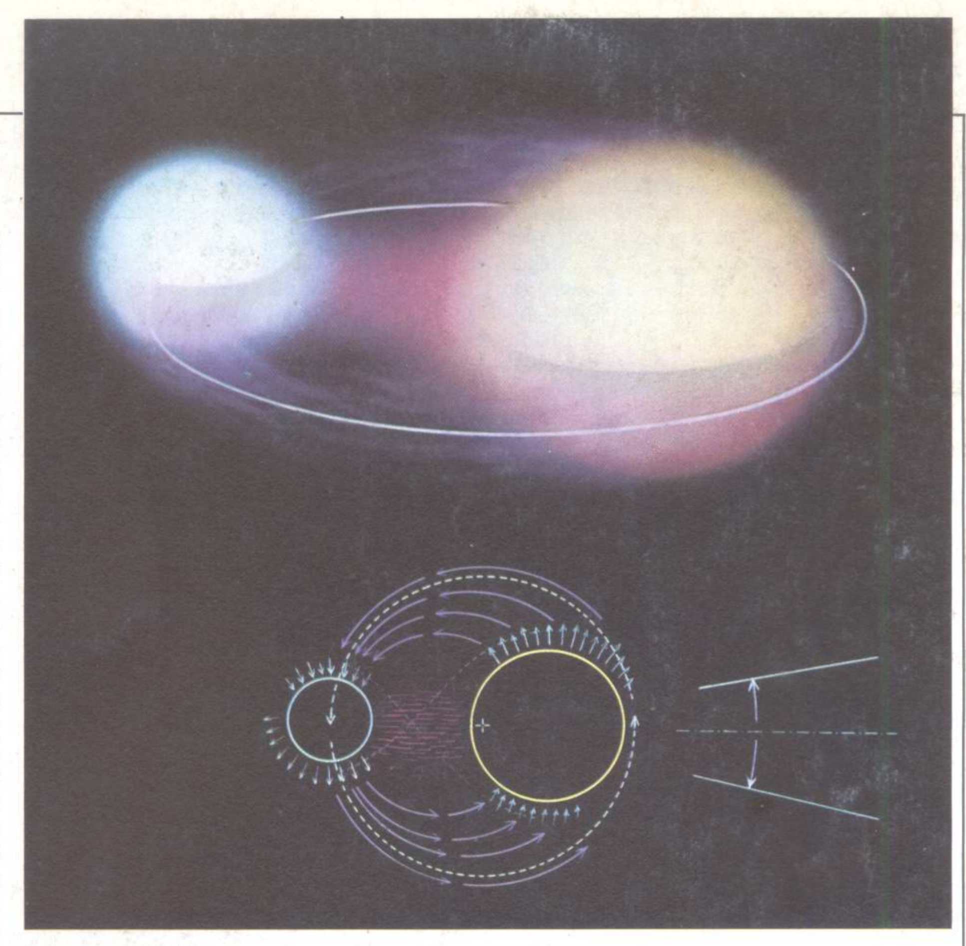
Binarias eclipsantes El sistema binario óptimo es el de las binarias eclipsantes. Es lo que ocurre cuando, al moverse una alrededor de la otra, las dos estrellas se eclipsan recíprocamente con intervalos periódicos. Tomemos el caso de una pequeña estrella, por ejemplo una enana blanca, en órbita alrededor de una estrella de grandes dimensiones de la secuencia principal y que atraviese un período tranquilo de su existencia. Durante una rotación, se observan dos eclipses. En uno de éstos la estrella de la secuencia principal cubre complementamente a su compañera más pequeña. Esto es un eclipse total. Durante este intervalo de la órbita todas las radiaciones procedentes de la estrella oculta (visibles y no visibles) dejan de ser detectadas por los instrumentos. Por otro lado, tras recorrer otra media órbita, un eclipse anular dará lugar a una retención parcial de la radiación procedente de la estrella de la secuencia principal. Esto, como en el caso del eclipse total, se manifiesta como una disminución de la radiación conjunta, pero no tan notable como en el primer caso. La información que se obtiene a partir de la observación del eclipse, unida a la que se deriva de la observación del efecto Doppler que actúa sobre la radiación de las estrellas en otras posiciones de la órbita donde no se producen eclipses, suministra datos excelentes sobre la masa de ambas estrellas.

Variables elipsoidales Un fenómeno muy interesante, que puede darse en los sistemas binarios y que depende de la cercanía de las estrellas que los componen, es el de la formación de cuerpos conocidos con el nombre de *variables elipsoidales*. Se trata de estrellas muy cercanas entre sí que son "alargadas" o "deformadas" en forma elipsoidal u oval por efecto de su recíproca atracción gravitacional. Son estrellas variables ya que el conjunto de radiaciones que emiten varía según la porción de la superficie radiante vuelta hacia el observador. Dicho en otras palabras, si se hace girar un huevo alrededor de un eje, se verá unas veces una esfera (cuando la extremidad superior o la inferior del huevo esta vuelta hacia vosotros) y otras una superficie plana, extendida, en forma de elipse. Contrariamente a lo que ocurre con la cefeidas o en otras estrellas variables pulsantes, estas variables elipsoidales sólo se limitan a girar. La

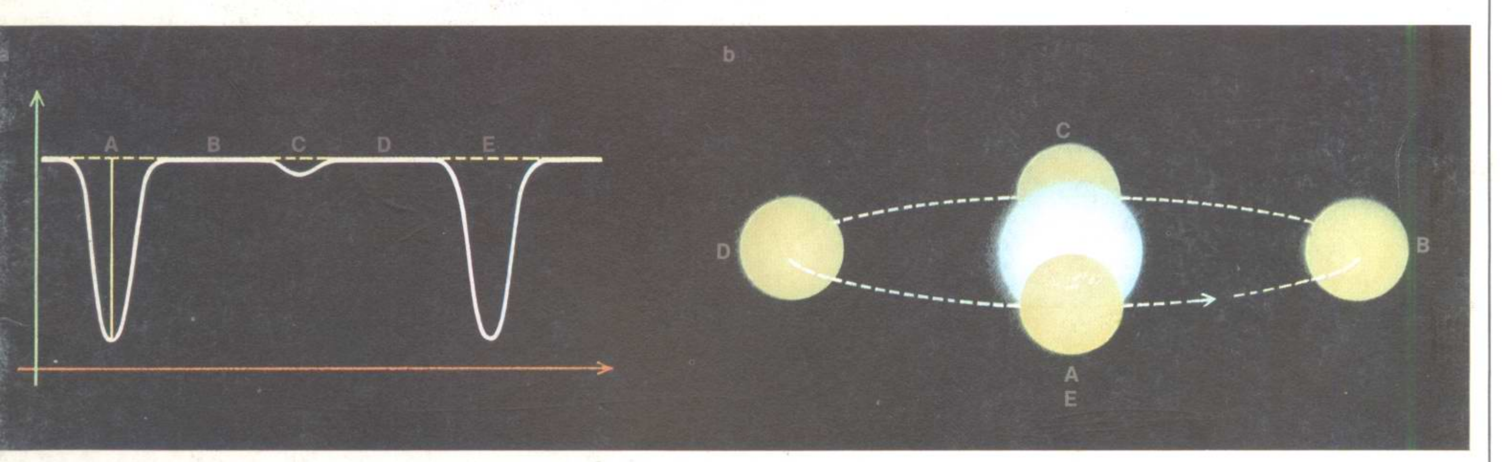
variabilidad es de tipo intrínseco, es decir, debida a cambios físicos de la estrella, en este caso, de la superficie.

Binarias de contacto En el caso en que dos estrellas estén muy cerca, puede ocurrir que la deformación que una produce sobre la otra sobrepase los límites del caso precedente. En realidad, es posible que los objetos llamados *novae recurrentes* representen el resultado de las interacciones entre dos estrellas que constituyan una *binaria de contacto*. En este caso, una de las estrellas arranca materia superficial de su compañera y la atrae al interior de su zona de influencia gravitacional, admitiendo que sea lo bastante densa y maciza como para poder ejercer este tipo de acción. Los científicos consideran que una situación de este tipo es probable en el caso en que las dos estrellas sean una enana blanca y una gigante roja respectivamente, ambas en el límite extremo de su evolución. La enana blanca, que es pequeña pero densa, atrae el plasma ligero y viscoso de la gigante roja en expansión y lo atrapa. Con el paso del tiempo, se acumula cada vez mayor cantidad de materia sobre la enana blanca hasta que ésta entra en un estado de inestabilidad debido al aumento de la presión y de la temperatura. En una poderosa explosión (la estrella se convierte en una nova) la enana blanca expulsa, finalmente, la envoltura que se ha formado, hacia el espacio interestelar. El proceso puede repetirse más veces. De hecho se han observado varias explosiones de este tipo.

Véase **Astronomía; Cosmología; Efecto Doppler; Estrella**



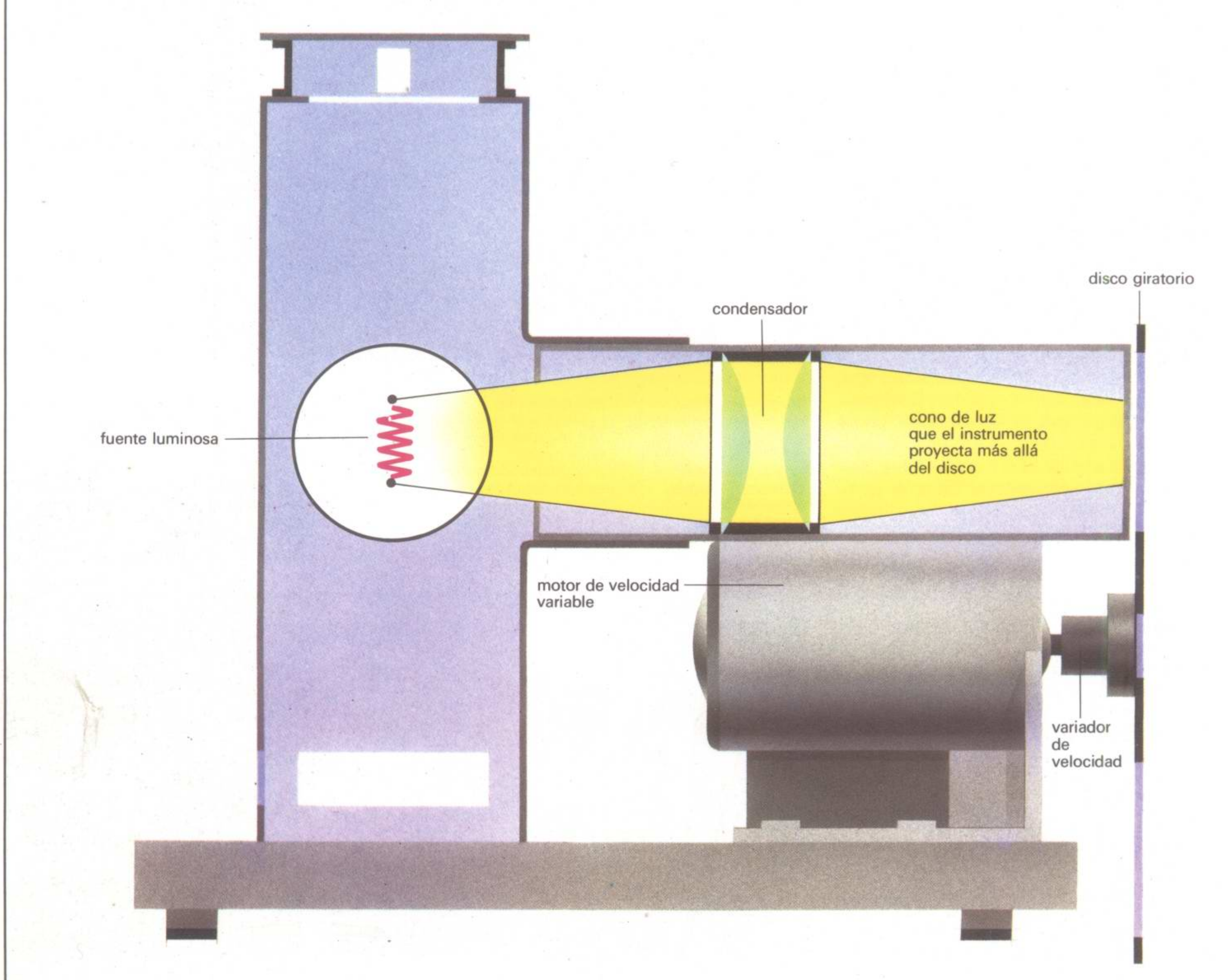
Arriba, el modelo de la estrella doble UX, de la constelación de Monoceros (Unicornio). Ningún telescopio permite ver las dos componentes separadas, ya que están demasiado cerca una de otra: se encuentran, en realidad, a la distancia que muestra el dibujo, en la misma proporción con que se han dibujado sus cuerpos, los cuales no son esféricos, sino alargados y en forma de pera, debido a la deformación que experimentan como consecuencia de las grandiosas fuerzas de marea originadas por su cercanía. La fuerza de gravedad que cada una ejerce sobre la otra es tan grande que entre los dos astros se produce un continuo flujo de materia. Dada la inmensa distancia que nos separa de tales estrellas, estas características del astro son perceptibles únicamente con el análisis de su luz.



Entre las estrellas que no se pueden ver como dobles, debido a la excesiva cercanía de sus componentes, pero que pueden ser reconocidas como tales, se encuentran las que, girando muy cerca en una órbita cuyo plano pasa por la Tierra, se eclipsan en cada vuelta. En la parte derecha se ve una de dichas estrellas, formada por una componente más luminosa y de diámetro mayor y una menos brillante y de diámetro un poco menor. La órbita está dispuesta de tal modo que, cada vez que la secundaria pasa entre nosotros y la principal, eclipsa a ésta, mientras que cada vez que pasa detrás de ella se eclipsa a sí misma. En el primer caso, con el eclipse disminuye bastante la luminosidad de la pareja. En el segundo caso, la luminosidad disminuye, pero no tanto. Los astrónomos que siguen el fenómeno observan las estrellas con el telescopio y miden su luminosidad con un instrumento llamado *fotómetro* (parecido, pero mucho más sensible, al exposímetro de una máquina fotográfica). Las medidas que toman durante horas sucesivas (o en días sucesivos) son dispuestas en un diagrama. La estrella doble de la derecha da lugar a un diagrama similar al de la parte izquierda. En A y en E, se alcanza el llamado *mínimo principal*, debido al paso de la estrella menos luminosa delante de la más luminosa. El *mínimo secundario* se alcanza en el punto opuesto, C. En este caso se tiene la certidumbre de encontrarse frente a una estrella *doble fotométrica*. La forma y la intensidad de los dos mínimos dependen de la luminosidad y del diámetro de las dos componentes. Del diagrama de la variación de luminosidad de la pareja pueden deducirse muchas propiedades de las dos componentes, incluso la forma de la órbita y las formas de pera debidas a las fuerzas de marea. Muchas dobles fotométricas pueden ser observadas, también, como espectroscópicas. Debido a la corta distancia entre las dos componentes, la rotación tiene lugar en períodos muy cortos, incluso de horas, frente a los años, siglos o milenios de las dobles ópticas.

Estroboscopio

Si en una habitación llena de gente en movimiento apagamos y encendemos varias veces la luz rápidamente, parecerá que la gente se mueve velozmente y como a saltos, aunque en realidad sus movimientos sean lentos y fluidos. Esta ilusión óptica, conocida con el nombre de *efecto estroboscópico* (de la palabra griega que significa "vertiginoso"), se produce porque la observación de las personas se interrumpe alternativamente debido a la oscuridad existente entre los destellos de luz. El *estroboscopio* es el instrumento capaz de generar luces pulsantes a gran velocidad para que se produzca ese efecto. Utilizado con una cámara fotográfica, es posible realizar sucesivas instantáneas de un objeto en movimiento rápido, tal como un caballo al galope o una bala, y obtener una descomposición del movimiento para su posterior análisis.

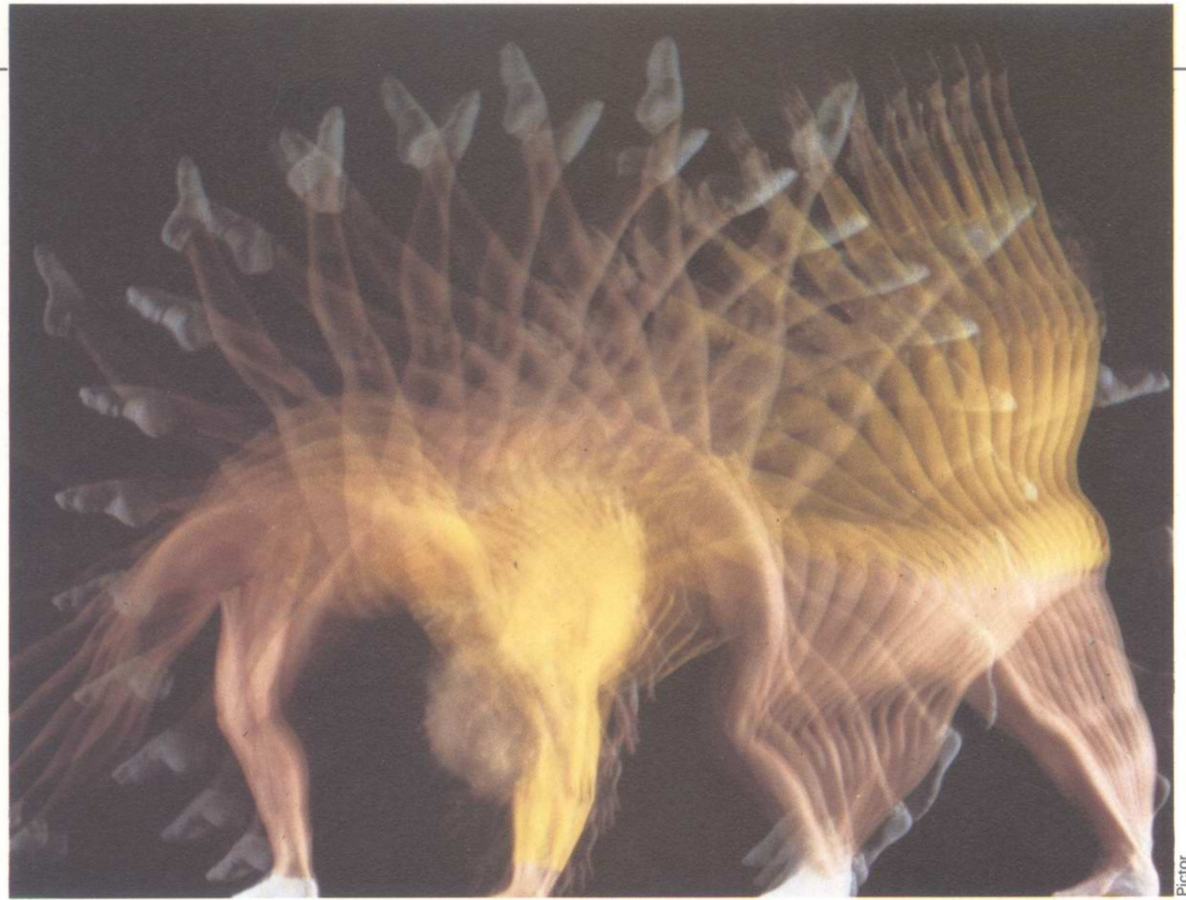


Historia El primero que realizó experimentos con la fotografía estroboscópica fue William Henry Fox Talbot, quien ya en 1850 abrió el obturador de una cámara fotográfica en una habitación oscura y disparó una serie de destellos de luz. Ernst Mach, el físico austríaco que muchos recuerdan por el "número de Mach" ligado a la velocidad del sonido, empleó esta técnica para fotografiar las balas y sus ondas sonoras cuando salían del cañón de un fusil. El pintor Thomas Eakins y el fisiólogo Etienne Jules Marey crearon un efecto estroboscópico interrumpiendo con obturadores muy rápidos un haz constante de luz. En 1931, Harold E. Edgerton, inventor del tubo electrónico de flash (que posteriormente evolucionó hasta el *flash* electrónico), fue el primero en acoplar con éxito un estroboscopio electrónico a una cámara fotográfica. Colaboró con el fotógrafo Gjon Mili en una famosa serie de fotografías estroboscópicas que apareció en la revista *Life* al final de los años treinta.

Los estroboscopios se diferencian de los *flashes* por la duración del destello y por el período de tiempo que transcurre entre un destello y otro. La duración del destello de una lámpara electrónica de *flash* es de alrededor de una milésima de segundo, y el tiempo necesario para recargarse es, en un modelo rápido, no menor a medio segundo. Un estroboscopio, por el contrario, puede producir impulsos largos de hasta 10 segundos y extraordinariamente cortos (50 destellos por segundo).

Las técnicas modernas Hoy en día los estroboscopios funcionan según el mismo principio del tubo de *flash* de Edgerton, consistente en un sólido tubo de vidrio con un electrodo en cada extremo. El tubo contiene una pequeña cantidad de gas xenón, que se ioniza al recibir una fuerte descarga eléctrica generada por un condensador, iluminándose breve pero intensamente y produciendo un fuerte destello. Después de Edgerton, las principales mejoras que se han introducido en los estroboscopios han consistido en disminuir el peso de la fuente de alimentación necesaria para cargar el condensador, consiguiendo que los estroboscopios sean más manejables, y en aumentar considerablemente la velocidad de recarga.

El estroboscopio ha revolucionado la fotografía, ya que la intensa luminosidad de un destello de luz muy breve produci-



Pictor

Actualmente se emplea el estroboscopio electrónico, constituido por un tubo de vidrio con un electrodo en cada extremo conteniendo una pequeña cantidad de gas xenón. Una descarga procedente de un condensador calienta el gas, ionizándolo y obligándolo a producir un corto pero intenso destello. El campo donde el estroboscopio encuentra una mayor aplicación es el de la fotografía, tanto por su utilización como *flash,* como por la posibilidad de fotografiar en una misma placa las posiciones sucesivas ocupadas por un cuerpo en movimiento rápido.

do por él permite al fotógrafo mantener una apertura focal mucho más pequeña, aumentando así de forma considerable la profundidad de campo. Por otra parte, los reflectores lenticulares fijos (del tipo utilizado en los estudios de televisión) no pueden producir una gran cantidad de luz sin emitir asimismo un calor agobiante. En cambio, la luz de un estroboscopio tiene una duración tan sumamente corta que el sujeto fotografiado no siente calor, aunque éste en realidad es intenso durante el breve tiempo del destello. Como consecuencia, un fotógrafo que trabaja en el campo de la moda puede hacer en pocos segundos docenas de fotografías de una modelo que se mueva rápidamente, obteniendo una óptima profundidad de campo gracias a la luminosidad del *flash* y sin que la modelo esté expuesta a un calor excesivo. Por el mismo motivo, los estroboscopios se emplean para realizar las fotografías científicas y médicas, especialmente para fotografiar muestras vivas o fenómenos que dependen de la temperatura. Recientemente, los estroboscopios se han empleado con fines decorativos en las salas de baile, en las discotecas y durante los conciertos de música *pop*, en cuyo caso los destellos de luz se sincronizan con el ritmo de la música. También se pueden conectar a las cámaras de cine, así como utilizarse para analizar los objetos en movimiento.

El estroboscopio es un aparato capaz de emitir una luz muy intensa con intervalos cortísimos. En su forma más sencilla (representación esquemática, en la página anterior, del antiguo modelo no electrónico, expuesto aquí debajo) está constituido por una fuente luminosa, por un condensador y por un disco rotatorio con unas perforaciones radiales, que es movido por un motor de velocidad variable.

Véase **Fotografía, iluminación**

Estructura matemática

Ingenieros y arquitectos, antropólogos y geógrafos, economistas, sociólogos y políticos, lingüistas, filósofos y matemáticos se refieren constantemente a las *estructuras*; con frecuencia se oye la cantinela de la *reforma de las estructuras*; una de las filosofías de nuestro tiempo se llama, precisamente, *estructuralismo*. En resumen: vivimos, como el personaje de Molière, sin saberlo, entre *estructuras*; pero ¿es posible saber lo que se quiere decir cuando se habla de *estructura*? Por lo menos, en una disciplina tan poco propicia a la divagación como la Matemática. Veamos si se puede contestar tal pregunta.

En primer lugar convendría señalar que —lo mismo que sucede en las otras áreas del saber en las que se usa— el término *estructura* tiene en matemáticas un significado que es sólo analógico con el que le es propio originariamente en arquitectura, y que hace referencia, más o menos, a ideas de orden, consistencia, soporte, etc. Por otra parte, hay que suponer, dados la época y los autores de su puesta en circulación, que las modas culturales tuvieron mucha influencia en la misma. Por último, como se comprenderá enseguida, sería perfectamente razonable sustituir el término *estructura matemática* por el de *sistema matemático* u otro análogo.

Concepto de "estructura matemática"
Sea E un conjunto no vacío cualquiera (es decir, uno a cuyos elementos no se les atribuye ninguna *naturaleza* o *característica*); establezcamos para sus elementos una serie de *relaciones*, *aplicaciones* u *operaciones* (a las que no se les da ninguna *significación concreta*) por medio de una lista de propiedades o *axiomas*. E, con dichas relaciones, aplicaciones u operaciones es lo que se denomina una *estructura matemática*.

Convendría aclarar, mediante algunos ejemplos y observaciones, el alcance de la anterior definición (por otra parte un tanto informal). Una de las más simples *estructuras* matemáticas, y también de las más antiguas ya que se debe a Galois, es la de *grupo*. Como se recuerda, un *grupo* es un conjunto para el que se ha definido una operación algebraica que es asociativa, existe para ella un elemento *neutro*, y tal que dado cualquiera de sus elementos puede encontrarse otro, llamado su *simétrico* u *opuesto*, con el que el resultado de la operación es el *neutro*. Son grupos concretos el conjunto de los enteros, $\mathbb{Z}$, con la suma, o el de los reales positivos, $\mathbb{R}_+$, con el producto.

Otros ejemplos diferentes de estructuras podrían ser los de *conjunto ordenado*, *retículo*, *algebra de Boole* o *espacio topológico*.

La definición anterior corresponde al concepto de *estructura matemática abstracta*. En tal caso el conjunto y las propiedades definidas sobre él no tienen ninguna significación concreta; todo lo que *se sabe* sobre ellos viene dado por la forma que se *comportan* y ésta establecida clara y unívocamente por la *lista de axiomas*. Volviendo al ejemplo del grupo, se diría más *técnicamente* que: la pareja (G, $*$) es un grupo si G es un conjunto no vacío y $*$ designa una operación tal que se cumplen

I $x*(y*z) = (x*y)*z$, para todo $x, y, z \in G$

II Existe un $n \in G$, tal que $x*n = n*x = x$ para todo $x \in G$

III Para todo $x \in G$, existe $x' \in G$ tal que $x*x' = x'*x = n$

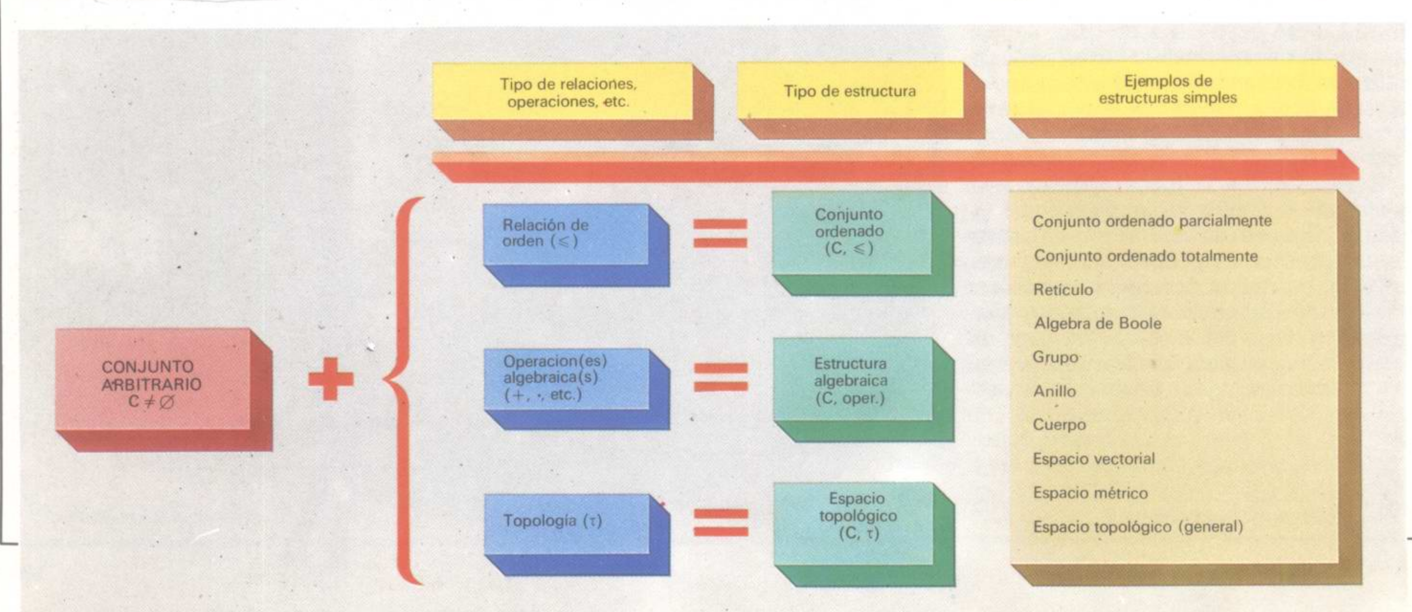
(donde $x*y$ designa el elemento que la operación hace corresponder al par ordenado (x,y), teniendo en cuenta que una *operación interna* no es sino una aplicación que a todo $(x,y) \in G \times G$ le hace corresponder uno y sólo uno de los elementos de G).

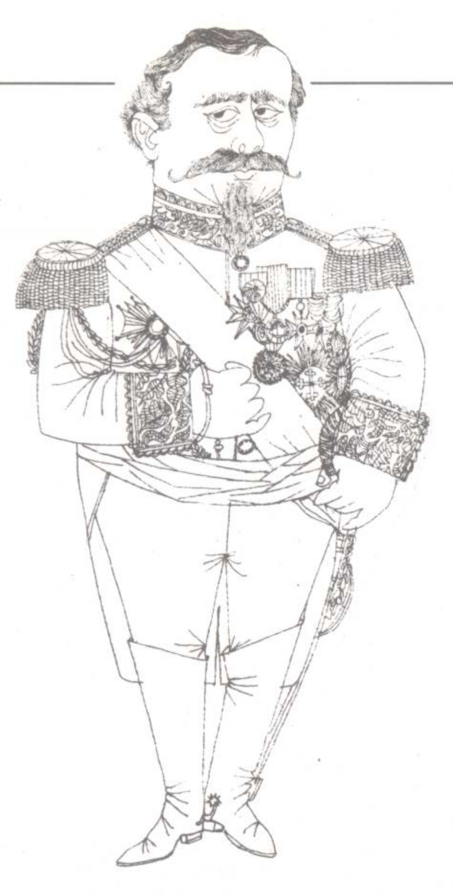
El de *estructura* es un concepto inseparable del de *método axiomático*. Una *estructura* no es sino un conjunto arbitrario (del que no se sabe nada salvo lo que se postula) en el que *axiomáticamente* se establecen una serie de "reglas de juego". Su papel, el de ambos, en la Matemática moderna es central. En ésta no se estudia otra cosa que estructuras. Así, mientras que la Matemática clásica trataba con conjuntos concretos muy variados y muy ricos en propiedades, la Matemática moderna se dedica a estudiar estructuras abstractas en las que las propiedades se dan en estado *puro*. Aclaremos lo anterior. Piénsese, por ejemplo, en el conjunto de los números reales $\mathbb{R}$; sabemos (¡es un decir!) qué significa y qué propiedades *concretas* tienen sus elementos: pueden sumarse, multiplicarse u operarse de otros modos: por otra parte, están ordenados; también tienen características relativas a convergencia, continuidad, etc.; además, todas estas propiedades —fruto de lo que los números reales *son*— están entremezcladas. Pues bien, ese enfoque es clásico; un matemático moderno ve $\mathbb{R}$ como ejemplo concreto de diferentes estructuras interrelacionadas (la de cuerpo algebraico, la de conjunto ordenado, la de espacio métrico, etc.) que *antes* ha estudiado en estado "químicamente puro".

¿Dónde está la ventaja de las *estructuras* y del *método axiomático*? En varios aspectos: por una parte se consigue una mayor facilidad y clarificación en el estudio de las diversas propiedades, al hacer de modo separado el de unas y otras; por otra, se pone de manifiesto su carácter formal (es decir, independiente del significado concreto de los elementos de que se trate); en último y más importante lugar, se consigue una gran *economía de pensamiento* (lo que se prueba, por ejemplo, para el grupo abstracto vale para todos los casos concretos de grupos).

Es posible bromear un poco con la sociología del conocimiento (siempre que

Un *conjunto* cualquiera (cuyos elementos no tienen ninguna concrección) más una serie de relaciones, operaciones, etc., a las que no se da ninguna significación concreta y cuyo *comportamiento* se establece por una colección de *axiomas*, constituyen una *estructura* matemática. Las más importantes son las *matrices* o básicas: de *orden*, *algebraicas* o *topológicas*. Las primeras dotadas de una relación de orden, las segundas de operaciones algebraicas y las últimas de una topología. Ejemplos de ellas hay muchos; la tabla da unos pocos. A partir de las estructuras matrices cabe construir otras combinadas.





Parece que hubo una vez un general francés (de origen griego) llamado Charles Denis Sauter Bourbaki, que participó en la guerra francoprusiana y al que, según se dice, le fue ofrecida en 1862 (cuando contaba 46 años) la posibilidad de ser rey de Grecia. También resulta que, por algún extraño misterio, hacia los años 30 del siglo XX y con el nombre de Nicolás Bourbaki, se encarnó en un grupo de matemáticos franceses que, con el tiempo, han ido renovándose y trabajan hoy en Francia y EE. UU. Esta última razón geográfica parece ser la explicación de que a veces publicaciones de Bourbaki se firmen en la Universidad de *Nancago* (Nancy y Chicago). Hablando en serio, conviene saber que el equipo Bourbaki lleva más de 40 años escribiendo unos monumentales *Eléments de Mathématique*, que sistematizan y formalizan las matemáticas del siglo XX, aparte de que sus miembros sean todos —Cartan, Dieudonné, Weil, etc.— grandes creadores de la misma. En broma, *Scientific American* veía así, en el número de mayo de 1957, al general Bourbaki (del que se dice existe una estatua en Nancy).

no se lleve la cosa demasiado lejos) y ver la Matemática clásica, de los siglos XVIII y XIX, como un fruto de la sociedad capitalista primitiva (dedicada al estudio de teorías y problemas concretos para aplicarlos de inmediato a la ciencia y la técnica), mientras que la sociedad capitalista avanzada, con su producción y consumo de masas y su racionalización científico-técnica aplicada a todos los aspectos de la vida, habría producido la Matemática moderna (en la que se estudian formas, más o menos vacías de significado concreto, que pueden ser aplicadas en cualquier rama del saber). La Matemática clásica estudiaría *sistemas concretos* "a la medida", mientras que la moderna trabajaría con *estructuras abstractas* "de confección industrial" o, por lo menos, "prêt a porter".

Las estructuras "matrices" Bourbaki —seudónimo del grupo de matemáticos franceses que en los años 30 y 40 de nuestro siglo inicia un formidable proyecto de formalización y sistematización de la Matemática moderna que se refleja en sus *Eléments de Mathematique*— escribió en 1948 un artículo, hoy clásico, que, significativamente, se dedicaba a la "arquitectura de las matemáticas" y que apareció en el famoso libro de Le Lionnais (*Les grands courants de la pensée mathématique*) en el que formulaba alguna de las ideas antes resumidas. En el mismo se sostenía además que las estructuras básicas o fundamentales (o, como se dice a veces, las *estructuras matrices*) a partir de las cuales, por combinación, pueden deducirse las más complejas estructuras matemáticas abstractas y concretas son de tres tipos: a) estructuras algebraicas; b) estructuras de orden; c) estructuras topológicas.

Las primeras son aquéllas que giran en torno al concepto de operación algebraica. Grupos, anillos, cuerpos, espacios vectoriales, etc. pueden ser ejemplos de las mismas.

Las segundas, se basan en el concepto de relación de orden. Conjuntos ordenados parcial o totalmente, retículos, etc. son casos de estructuras de orden.

Por último, las estructuras topológicas formalizan las ideas intuitivas de proximidad, continuidad, convergencia y otras análogas. Espacios métricos y espacios topológicos generales son los ejemplos fundamentales.

A partir de dichas estructuras cabe estudiar otras combinadas. Por ejemplo, un cuerpo algebraico puede ser, a la vez, un conjunto ordenado, de modo que exista una compatibilidad entre ambas estructuras (como pasa en $\mathbb{R}$) o un espacio vectorial puede, a través de la existencia en él de una norma, tener propiedades de espacio métrico compatibles con las vectoriales. Por último, cabe tratar sistemas concretos muy intrincados ($\mathbb{R}$, $\mathbb{C}$, espacios funcionales, etc.) como conjuntos en los que se dan varias estructuras interrelacionadas.

El método axiomático y la organización estructural de la matemática actual no sólo obedecen a razones científicas, históricas y, tal vez, sociales profundas sino que, en contra de lo que, no sin cierta razón, dicen de ésta sus detractores, le proporcionan una unidad dentro de su enorme variedad interna y de la amplia difusión de sus aplicaciones prácticas (en las ciencias físicas, la tecnología, la economía y las ciencias sociales, la lingüística, la política y la estrategia, etc.) En efecto: si la matemática actual no estuviese, por un lado, desprovista del lenguaje y del estilo un tanto mecanicista que le eran propios en siglos pasados y si, por otro, no siguiese unas líneas básicas —estructuras y método axiomático— que le sirvieran de principios directores, sería un repertorio enormemente valioso pero, sin duda, amorfo y complicado. Lo mismo que Euclides en su tiempo, Bourbaki y otros matemáticos contemporáneos en el nuestro han puesto en orden el universo matemático.

Una última consideración (ésta un tanto sorprendente para los que no entienden la matemática mal llamada *moderna*). Axiomas y estructuras no sólo son cuestión de unidad, de rigor o de elegancia; no se trata con ellos sólo de facilitar las aplicaciones a nuevos campos; también resulta que la mente humana está más en sincronía con la Matemática *estructural*. Eso es lo que piensa el gran Piaget cuando afirma que el niño forma sus conceptos de acuerdo con mecanismos análogos a los que formalmente reflejan las estructuras algebraicas, de orden o topológicas.

Véase **Algebra; Algebra de Boole; Conjuntos, teoría de; Espacio matemático; Espacios métricos y topológicos; Espacios vectoriales y afines; Grupos, anillos y cuerpos; Lógica matemática; Método axiomático; Relación de orden; Topología**



David Hilbert (1862-1943) nació en Königsberg y fue, a partir de 1895, profesor de la Universidad de Göttingen. Hilbert realiza una colosal obra en todas las ramas de la matemática. Es importante su labor en Análisis y Física Matemática, en Aritmética, en Lógica y en Geometría. Por ejemplo, en lo que a esta última respecta, su obra de 1889, *Grundlagen der Geometrie* ("Fundamentos de la Geometría"), da una fundamentación rigurosa de la geometría euclidiana. Sin embargo, hay dos aspectos capitales que destacan aún más en Hilbert. Por un lado, su acción de liderazgo del desarrollo matemático en el tránsito del siglo XIX al XX; así su apoyo decisivo al cantorismo o su presentación, en el Congreso de 1900 en París, de los 23 problemas que han marcado la matemática de nuestro tiempo (algunos sin resolver aún). Por otro, su protagonismo en el campo de la filosofía de la matemática. La escuela formalista, hoy predominante, que basa la matemática en la no contradicción, el método axiomático y las estructuras, tienen su origen en Hilbert (quien, dicho sea entre paréntesis, no cayó nunca en los excesos de otros formalistas).

Etileno y polietileno

El etileno, un gas incoloro que tiene un débil olor, está presente en el gas de alumbrado. Mezclado con el aire en una relación aire-etileno de apenas 3/1, forma una mezcla explosiva, y cuando se usa como combustible, permite obtener rendimientos muy elevados, generando 1.438 calorías por metro cúbico.

Si el interés por el etileno se limitase a su empleo como gas, su historia acabaría aquí, dado que sus aplicaciones en este sentido no van mucho más allá de cuanto se ha dicho anteriormente.

El verdadero interés y la gran importancia de este compuesto reside en la posibilidad de emplearlo como materia prima fundamental en la industria petroquímica. Tratando el etileno con varios métodos, se obtienen el óxido de etileno, el etilbenceno, el cloruro de etilo, el dicloroetano, el alcohol etílico y el polietileno. La mayor parte de estos compuestos se emplea a su vez como materia prima para la obtención de innumerables productos industriales acabados. En realidad, el etileno es probablemente la más importante entre las materias primas petroquímicas (materias primas contenidas en el petróleo y en el carbón, o derivadas de ellos).

El *etileno* es el componente más simple de una serie de hidrocarburos denominados *olefinas* o, según la terminología química más reciente, *alquenos*. Una molécula de etileno se compone de dos átomos de carbono y de cuatro átomos de hidrógeno (todos los alquenos poseen un número de átomos de hidrógeno doble al número de átomos de carbono) y su fórmula general molecular es C_nH_{2n}, siendo su estructura $CH_2{=}CH_2$. La línea doble representa doble enlace: uno de estos dobles enlaces está disponible para reaccionar con otros átomos o grupos de átomos para la producción de nuevos compuestos.

Reacciones fundamentales En el proceso conocido como *oxidación*, por ejemplo, el etileno se combina con el oxígeno para dar *acetaldehído*:

$$CH_2{=}CH_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_3C - \underset{|\atop H}{C}{=}O$$

En la reacción de *cloración*, el etileno reacciona con el ácido clorhídrico en presencia de un catalizador ácido, con formación de cloruro de etilo:

$CH_2{=}CH_2$
[etileno]

$+ HCl$
[ácido clorhídrico]

$\rightarrow CH_3{-}CH_2Cl$
[cloruro de etilo]

El etileno se combina con el agua para formar alcohol etílico, en un proceso conocido como *hidratación:*

$CH_2{=}CH_2$
[etileno]

$+ H_2O$
[agua]

$\rightarrow C_2H_5OH$
[alcohol etílico]

En una reacción más compleja, denominada *oxicloración*, el etileno reacciona con el ácido clorhídrico y el oxígeno para dar el *dicloroetano*:

$CH_2{=}CH_2$
[etileno]

$+ HCl$
[ácido clorhídrico]

$+ 1/2\ O_2$
[oxígeno]

$\rightarrow C_2H_4Cl_2 + H_2O$
[dicloroetano] [agua]

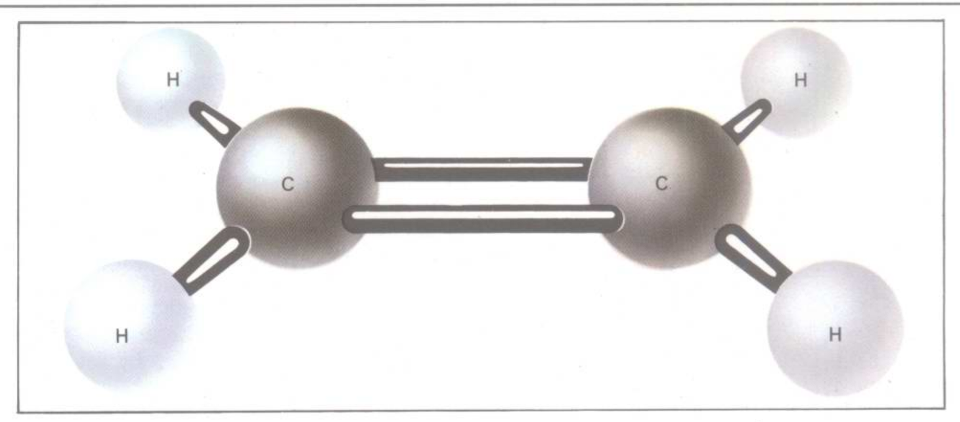
El dicloroetano a su vez se utiliza como materia prima para la obtención de cloruro de polivinilo, una de las materias plásticas más usadas en el mundo.

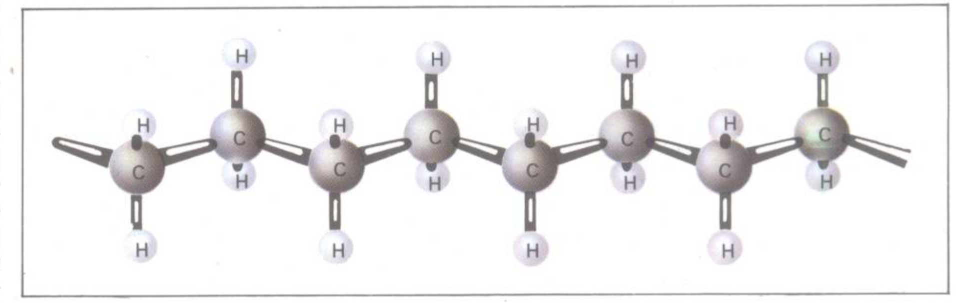
El polietileno Polimerizando el etileno se obtiene una materia plástica denominada *polietileno:*

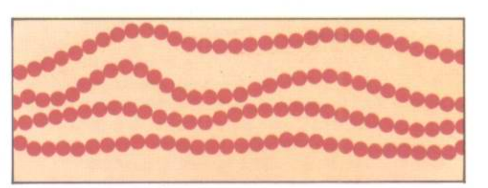
$${}_nCH_2CH_2 \rightarrow (-CH_2-CH_2-)_n$$

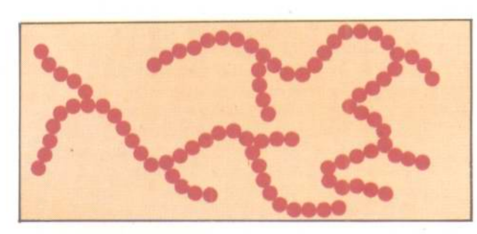
(La ecuación de la reacción de polimerización es un poco diferente a las ecuaciones químicas vistas precedentemente; dicha ecuación describe en la segunda parte la fórmula-tipo de las largas cadenas de moléculas idénticas unidas entre sí que componen el polímero).

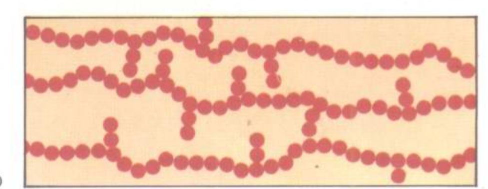
El polietileno es una de las materias plásticas más ampliamente usadas; la encontramos cada día en una forma u otra.



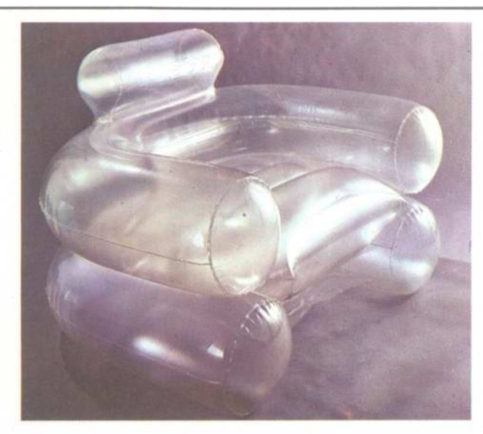








Arriba, esquema de la molécula de etileno, formada por dos átomos de carbono unidos entre sí y por cuatro átomos de hidrógeno unidos dos a dos a los átomos de carbono. Más abajo, esquema del polietileno. Para formar la cadena molecular se utilizan los dobles enlaces del carbono. Sobre estas líneas, las estructuras de los tres tipos fundamentales de polietileno. De arriba abajo, respectivamente: de alta densidad con moléculas lineales, de baja densidad con moléculas ramificadas y de baja densidad con moléculas lineales débilmente ramificadas. En la página siguiente, arriba, una planta para la producción de polietileno. A su izquierda, un original sillón hinchable en polietileno, diseñado en los años setenta. Abajo, esquema de la producción y de las aplicaciones de los derivados del etileno. De izquierda a derecha: el producto base, los grandes intermedios, los intermedios y los monómeros, los derivados, y finalmente, los usos o aplicaciones más comunes de cada derivado.



Pertenece al grupo de los polímeros termoplásticos, caracterizados por el hecho de ablandarse (sin descomponerse) cada vez que se calientan, y de endurecerse nuevamente cuando se enfrían.

(Entre los otros polímeros termoplásticos recordemos el poliestireno, el nailon, los polifluorohidrocarburos, y los polímeros acrílicos y celulósicos).

El polietileno es un producto resistente, estable a temperaturas elevadas, que no se altera por acción del agua ni tampoco en las condiciones ambientales más desfavorables. Es un excelente aislante eléctrico. Los fabricantes lo ofrecen tanto en la versión rígida como en la flexible. Una rápida mirada a nuestro alrededor lo descubre en casas, oficinas, garajes, etc., es decir, hay innumerables ejemplos de las aplicaciones de este versátil polímero. Muchas de las tuberías de las casas están fabricadas en polietileno, que actualmente está sustituyendo de forma progresiva al metal, demasiado sujeto a la corrosión. El aislamiento de los hilos eléctricos suele estar también constituido de polietileno, así como los recipientes para los cubitos de hielo de los frigoríficos y muchos de los recipientes que sirven para conservar productos alimenticios.

Otros ejemplos de las innumerables aplicaciones del polietileno en la vida moderna son la fabricación de platos, tazas, vasos, mangos para cepillos y otros accesorios, además de juguetes. Moldeable en capas muy frías, resistente a la corrosión, impermeable a los olores y fácil de limpiar, el polietileno ha sustituido en gran parte al metal en la fabricación de los recipientes para basuras y para alimentos.

Montedison

Véase **Petroquímica; Plásticos; Polímeros**

Producto base	Grandes intermedios	Intermedios y monómeros	Derivados	Aplicaciones
etileno (de petróleo: nafta o gasóleo)	óxido de etileno		glicoles etilénicos,	anticongelantes, fibras y resinas poliéster, explosivos, auxiliares textiles, industria petrolífera
			anticongelantes,	circuitos de refrigeración de automóviles, plantas de refrigeración industrial, plantas solares y de calefacción
			fluidos para frenos hidráulicos,	circuitos frenos automóviles
			glicoles éteres,	disolventes para pinturas y tintas, aditivos, carburantes para aviones, detergentes
			dietilamina,	jabones, detergentes, absorción de gases
			polialquilenglicoles,	auxiliares textiles, bases para productos farmacéuticos y cosméticos,
			polialquilenglicoléteres,	lubricantes sintéticos, líquidos para transmisiones hidráulicas, tensoactivos
	dicloroetano	cloruro de vinilo	cloruro de polivinilo	tubos y perfiles rígidos, cables, películas y planchas, símil-piel, embalajes, transporte y decoración
			polietileno baja densidad,	sacos, plásticos de uso agrícola, bolsas para comercio, tubos flexibles, aislamiento, cables
			polietileno alta densidad,	cajas, juguetes, menaje, hilos
			polietileno baja densidad lineal	artículos estampados con sistema rotacional
			clorofluoretanos,	disolventes para lavado en seco, aerosol, resinas poliuretánicas
	acetaldehídos	ácido acético	acetato de sodio,	disolventes para industrias de pintura, adhesivos y tintes
			acetato de metilo, butilo, isobutilo,	fotografía, mordientes para tintorerías, industria química
		anhídrido acético	acetato de celulosa,	disolventes y diluyentes para tintorerías, cueros artificiales
		acetado de vinilo	acetato de polivinilo	adhesivos, pinturas al agua, auxiliares textiles, plastificación del papel
			acohol de polivinilo,	auxiliares textiles, plastificación papel, adhesivos
			acetato de etilo	fibras celulósicas, materias plásticas
	etilbenceno	estireno	poliestireno,	electrodomésticos, menaje, juguetes, embalajes, construcción
			coopolímeros del estireno, (SAN y ABS),	menajes, embalajes, electrodomésticos, industria electrónica, electrotécnica, automovilística
			gomas SBR	neumáticos, correas, tubos, aislamientos, objetos estampados.

"La ferocidad y apasionamiento de algunos monos es tal, que los lleva a matar a los hombres negros que encuentran y a secuestrar a sus mujeres". Este dramático relato sobre los primates africanos se debe al prestigioso naturalista francés del siglo XVIII G. L. Leclerc, conde de Buffon, y constituye un claro ejemplo de la carga de subjetividad e interpretaciones supersticiosas que solían mezclarse en las descripciones del comportamiento de los animales hasta hace muy pocas décadas.

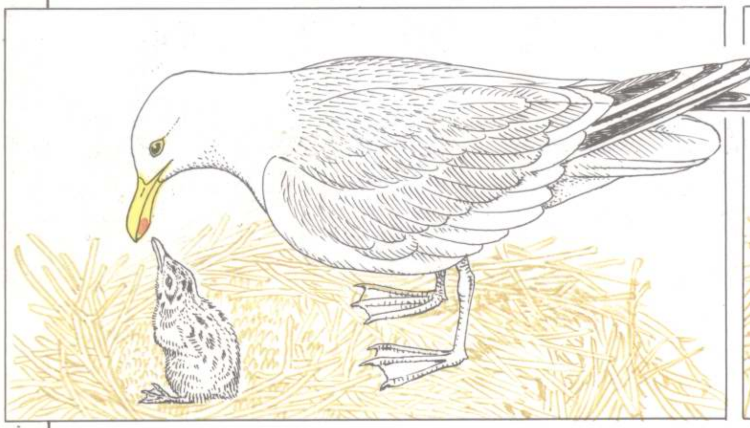
Hubo que esperar hasta el siglo XIX para que el espíritu científico, caracterizado por la objetividad, la actitud analítica y el método experimental, se impusiera también en esta parcela del conocimiento humano. Así nació la *Etología* (del griego *éthos*, "comportamiento", "costumbre," y *logos*, "tratado"), es decir, la ciencia del comportamiento animal.

Ya a partir de su establecimiento como ciencia, se distinguieron dos tendencias en el estudio del comportamiento animal: la Psicología comparada y la Etología.

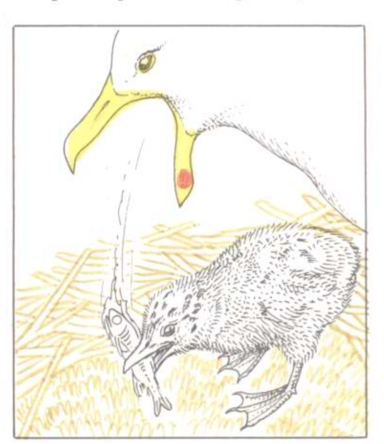
La mayoría de los seguidores de la primera eran psicólogos y, por tanto, su interés se centraba en el comportamiento humano. Al demostrarse con el evolucionismo la continuidad entre los animales y el hombre, los psicólogos comprendieron que el estudio de los animales arrojaría mucha luz sobre el comportamiento humano, y así nació la *Psicología comparada*. Esta disciplina adquirió en Estados Unidos su mayor desarrollo, bien entrado el siglo XX, en el seno de la escuela conductista (*behaviourist*). Los conductistas estudiaron sobre todo los fenómenos de aprendizaje en un número muy limitado de animales superiores, en condiciones de laboratorio muy distintas del ambiente natural de esos animales. Como reacción a este enfoque del trabajo surge la escuela etológica, que estudia el comportamiento de gran número de animales en su ambiente natural. Los etólogos prestaban mucha atención a las causas evolutivas del comportamiento, y se enzarzaron en fuertes polémicas con los conductistas. Hoy día cada una de las dos escuelas ha sabido aceptar los resultados positivos de la otra, y ha surgido la moderna Etología, que pone el acento, sobre todo, en los enfoques de la escuela etológica.

El ambiente exterior, un mundo de sensaciones ¿Qué tienen en común las diversas actividades que constituyen el comportamiento animal? Todas ellas se deben al funcionamiento de unas eficaces máquinas de producir movimiento, los músculos. Y los músculos se mueven gracias a las órdenes precisas y coordinadas que les envía el sistema nervioso. Este, por su parte, necesita estar bien informado de lo que ocurre en el ambiente exterior para poder enviar sus órdenes en el momento preciso; tal información la recibe por medio de los receptores sensoriales, cuya complejidad oscila desde simples células hasta complicados órganos como los ojos y los oídos.

Los receptores captan estímulos mecánicos (los del tacto y la presión), térmicos (los del frío y el calor), químicos (los del olfato y el gusto), acústicos (los del oído), etc. A pesar de que el hombre posee una gama muy completa de receptores, hay animales que poseen sentidos que el hombre ni siquiera puede imaginar, y son

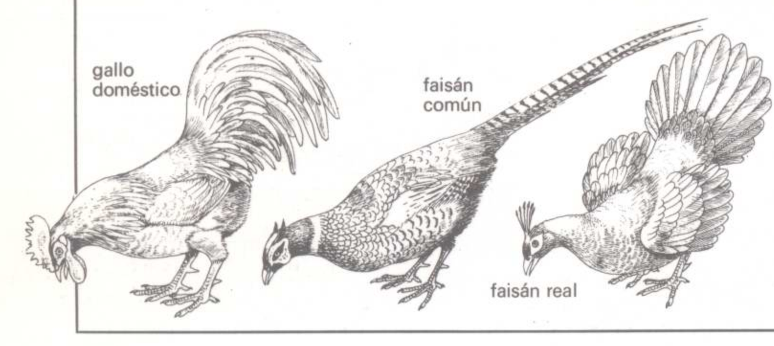


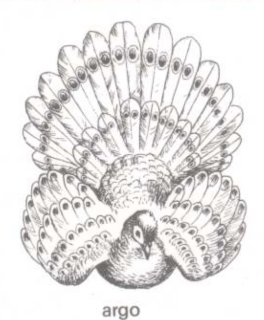






En experiencias con imitaciones de estímulos naturales se observó que algunas que se alejaban del modelo natural eran más eficaces. El polluelo de la gaviota argéntea (*Larus argentatus*) picotea el pico de los adultos, que tiene una mancha roja cerca de la punta, para que regurgiten la comida. Pues bien, un alambre rojo con tres manchas blancas en la punta es picoteado más veces aún. Si el pico de la gaviota no ha evolucionado hacia tal modelo es porque también cumple otras funciones. En la foto, el color vivo de la garganta del pollo es el estímulo-señal para que el progenitor le dé comida.







capaces de captar los rayos infrarrojos detectando la presencia de un animal, o las ligeras variaciones de débiles campos eléctricos, etc. Además, la sensibilidad de los receptores varía enormemente: los mamíferos suelen tener muy desarrollados los del olfato, y las aves los de la vista. Así pues, para comprender el comportamiento de un animal hay que conocer primero sus capacidades sensitivas.

El estímulo señal Cualquiera de nosotros puede comprobar que en un momento dado no nos valemos de toda la información que nos envían los sentidos, sino que prestamos atención sólo a una parte. Al estudiar este fenómeno en los animales, los etólogos han descubierto que la restricción que efectúan es a veces extraordinariamente selectiva. Cuando el espinoso macho (*Gasterosteus aculeatus*) llega a su época reproductora, su vientre toma un color rojo intenso. Si se le acerca otro macho, defiende furiosamente su territorio y le ataca. Niko Tinbergen acercó a uno de estos espinosos, varias imitaciones de machos que reproducían sólo algunas características del macho real y comprobó que el color rojo en la parte inferior era el que desencadenaba mayor número de ataques. Una reproducción muy bien hecha del pez a la que le faltaba el color rojo en el vientre resultaba mucho menos eficaz que un tosco óvalo coloreado en su parte inferior. A estos estímulos específicos ante los que reaccionan los animales se les llama *estímulos-señal*.



La respuesta a ellos es innata: el animal no necesita haber tenido una experiencia previa para responder.

Actividades espontáneas La respuesta de un animal ante un estímulo dista mucho de ser automática. Un animal hambriento no reacciona igual que si estuviera saciado, ni un macho fuera de la época de reproducción se comporta como los que sí lo están. Por un lado, los animales tienen también receptores sensoriales internos, que les informan del estado y las necesidades de su cuerpo; la sensación de hambre es un claro ejemplo de la existencia de estos receptores. Por otro lado, las hormonas, que son sustancias químicas producidas por las glándulas endocrinas —que vierten su producto directamente a la sangre—, actúan como mensajeros, regulando los procesos funcionales de otras partes del cuerpo. Pueden influir directa o indirectamente sobre el sistema nervioso y producen cambios de comportamiento: es el caso de las hormonas sexuales, que inducen la gama de comportamientos relativos a la reproducción.

Las observaciones de los etólogos y los experimentos de los neurofisiólogos han demostrado que existen actividades espontáneas o endógenas en los animales, que no responden a ningún estímulo exterior. Lorenz describe el caso de un estornino cautivo, separado de sus congéneres desde su nacimiento y bien alimentado, que a pesar de todo volaba de vez en cuando abriendo el pico como para cazar insectos, y luego se paraba y efectuaba los movimientos de deglución de un insecto imaginario.

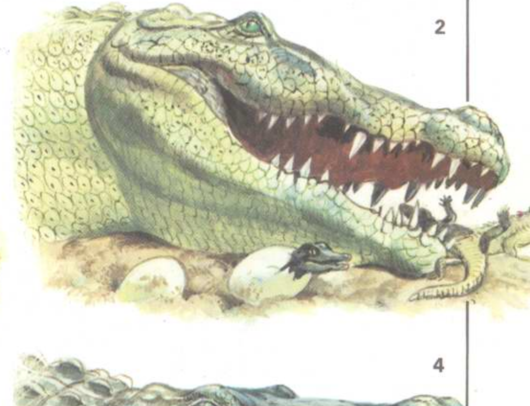
Cuando se hubo demostrado la existencia de centros nerviosos espontáneos, se trató de averiguar qué mecanismos eran capaces de inhibir la liberación de impulsos por parte de dichos centros cuando no se precisaban. Los experimentos realizados por K. D. Roeder en la *Mantis religiosa* demostraron que en la cabeza de este insecto se localiza un centro espontáneo que envía impulsos a las patas, provocando la marcha del animal; también en

El cortejo es el conjunto de actos que tienen lugar en las distintas especies animales para atraer y excitar al compañero, en función del apareamiento. Bajo estas líneas, una hembra del insecto *Hilara* acepta de un solo macho una bola de seda como regalo nupcial. En la página anterior, varios tipos de cortejo en los galliformes, desde las formas más elementales a las más rituales.

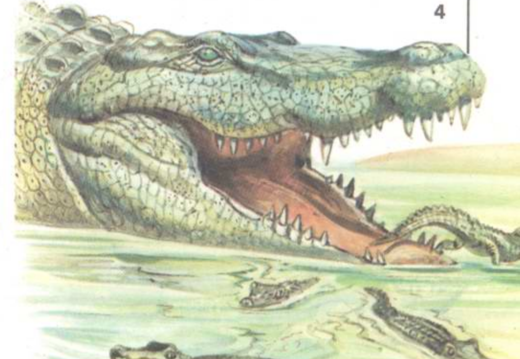


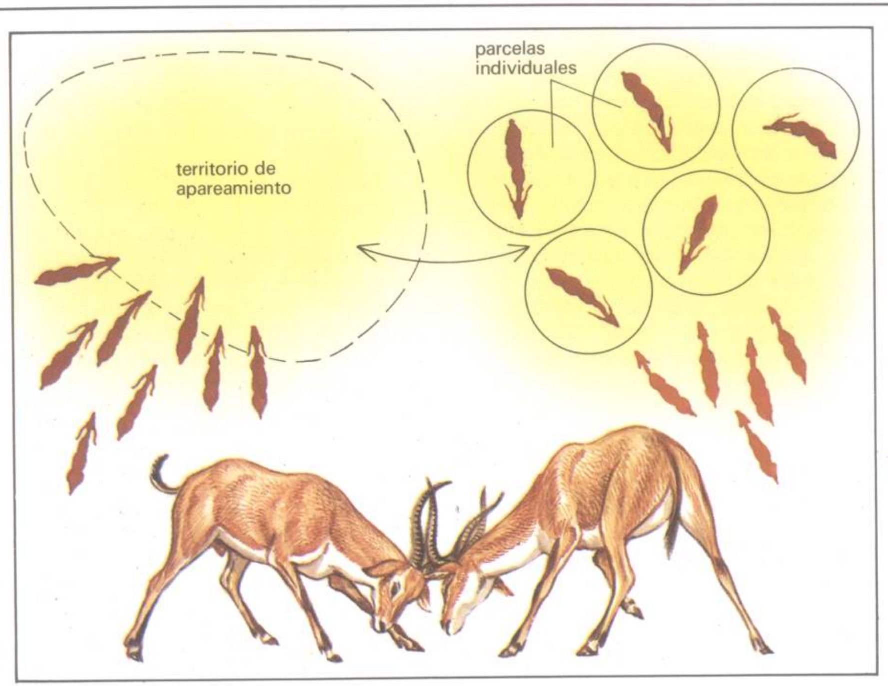


En la Naturaleza, el cuidado de la prole por parte de los padres tiene una importancia capital. Bajo estas líneas, una hembra de cocodrilo, que con su fuerte instinto maternal cuida a sus pequeños quitando la tierra que cubre los huevos (1), para luego, una vez que las crías han salido del cascarón, llevarlas entre la lengua y el paladar (2) tras haberlas recogido a todas con delicadeza dentro de la boca (3), transportándolas a aguas poco profundas (4) donde se completará su desarrollo. A la izquierda de estas líneas, un ejemplo en el que el macho es el encargado del cuidado de la prole: el anfibio anuro *Alytes obstetricans* lleva encima del lomo los huevos fecundados, sosteniéndolos con las patas posteriores.









postura de intimidación

postura de intimidación vista de frente

postura de sumisión

otros ganglios de la cabeza hay un mecanismo que inhibe la liberación de tales impulsos.

Además de los mecanismos inhibidores, se ha comprobado que existen otros desencadenadores, que sólo actúan en presencia de los estímulos-señal.

El instinto, concepto clave de la Etología Los etólogos han observado que en los animales las pautas de conducta parecen estar ordenadas funcionalmente; las que tienen una función común suelen presentarse agrupadas en el tiempo como si dependieran de un mecanismo común. Por ejemplo, los movimientos que realiza la hembra del canario para la construcción del nido se pueden dividir en seis fases, cada una de las cuales consta de varios movimientos simples. Esta ordenación de las pautas de conducta debe tener su origen en una organización paralela del sistema nervioso.

Según Tinbergen, lo centros nerviosos funcionales se organizan en estructuras piramidales, en cuyo vértice se encuentra el centro superior y cuya base está formada por centros más inferiores. Tinbergen llamó *instintos* a estas estructuras piramidales, definiéndolos así: "un instinto es un mecanismo nervioso jerárquicamente organizado, sensible a determinados estímulos —tanto externos como internos— que lo cargan, desencadenan y dirigen, y que responde a tales estímulos con movimientos coordinados que contribuyen a la eficacia biológica del individuo y de su prole".

Experimentos realizados por los neurofisiólogos demuestran que existe una base material de los instintos. Estimulando eléctricamente el encéfalo de un animal al que previamente se le ha introducido un finísimo electrodo, se ha podido "tantear" y localizar los puntos en los que el estímulo desencadena una respuesta global de comportamiento, tal como agresión-huida o búsqueda de comida.

¿Innato, aprendido, congénito, adquirido? El repertorio de las pautas de conducta suele cambiar considerablemente a lo largo de la vida del animal: unas aparecen, otras se pierden o se modifican. Unas surgen de forma gradual, otras de forma brusca (como el primer vuelo de las mariposas nada más salir del capullo). La abeja obrera limpia las celdillas durante los primeros tres días de su vida; del tercero al décimo, alimenta a las larvas; del décimo al vigésimo, construye panales, y desde entonces hasta su muerte vuela incansablemente de la colmena a las flores en busca de polen y néctar. Hay comportamientos *aprendidos*: los pájaros carboneros de una zona muy localizada de Inglaterra aprendieron a perforar el tapón de las botellas de leche que se dejaban a la puerta de las casas, y esta costumbre se fue extendiendo hasta el punto de que hoy se puede encontrar en los carboneros de gran parte de Europa. También hay comportamientos que se consideran *inna-*



Una tarea de especial importancia para un animal es la conquista de un territorio, su delimitación y su protección, que son necesarias para conseguir el alimento, y, en la época de celo, para el apareamiento. Esta conquista se suele realizar por medio de competiciones entre los machos, que son los que toman posesión del territorio. Arriba, a la izquierda, conquista del territorio por parte de machos de antilopinos, con la que tratan de retener al mayor número posible de hembras. Junto a estas líneas, un ejemplo de la delimitación del territorio: en muchas →

tos, ya que el animal no ha tenido ocasión de aprenderlos: es el caso del impulso irresistible que mueve al polluelo del cuco que acaba de salir del huevo a echar fuera de su nido a los otros huevos o polluelos.

Cuando se dice que un comportamiento es innato, no se excluye que reciba influencia del exterior, sólo significa que no necesita experiencia previa para manifestarse. Por otro lado, las conductas aprendidas tampoco están libres del programa genético del organismo, ya que los animales heredan predisposiciones a aprender determinados tipos de cosas en determinados momentos. La actual Etología no hace una distinción tajante entre "innato" y "aprendido".

La evolución del comportamiento Se ha podido comprobar que muchos comportamientos están controlados por los genes, al igual que otras características del organismo (como el color de los ojos, por ejemplo). Además, existe una transmisión hereditaria *cultural*, de unos individuos a otros, que no es exclusiva de la especie humana (ya hemos visto el ejemplo de los pájaros carboneros ingleses). Para estudiar la evolución del comportamiento, los etólogos topan con un obstáculo importante: el comportamiento no suele dejar huellas fósiles. De todos modos, comparando los comportamientos de grupos zoológicos emparentados se ha podido seguir a veces los pasos de la selección natural en este aspecto. En el caso de las relaciones sociales, la selección natural actúa sobre los miembros de cada especie de modo que se llega a una óptima distribución y densidad de los mismos, basada en el equilibrio entre las ventajas del agrupamiento y las de la dispersión.

Comunicación Las interacciones sociales entre los individuos de una especie animal se basan en la *comunicación* entre ellos. Se puede definir como el envío de una señal desde el individuo emisor hasta el receptor, de modo que se modifica el comportamiento de este último. Existe una enorme variedad de señales; a algunas más complejas se les ha llamado *lenguajes*, pero, para que se den estos últimos, los interlocutores tienen que ser capaces de emitir y comprender un conjunto de signos arbitrariamente convenidos, que simbolicen objetos, acciones, etc. Además, los lingüistas suelen poner otra condición para que se pueda hablar de lenguaje: que los interlocutores sean capaces de combinar unos signos con otros siguiendo ciertas reglas (es decir, una gramática). Para cumplir estas condiciones se requiere una capacidad mental muy elevada. No se ha encontrado ninguna especie que utilice espontáneamente un lenguaje de ese tipo, pero se ha podido demostrar que los antropoides pueden aprender un lenguaje si se les enseña. Son famosos los experimentos en este sentido de Premack con el chimpancé *Sara*, que era capaz de comprender hasta 130 "palabras" (fichas de colores y formas distintas), incluidas algunas que expresaban conceptos complejos, y de construir frases. En este campo la investigación está todavía en sus inicios.

Agresividad, territorio y vinculación social El comportamiento agresivo es una consecuencia de la competencia que existe entre los animales por diversos recursos del ambiente: comida, pareja sexual, espacio, etc. Cuando un animal tiende a expulsar a otros de su misma especie de un área determinada, se habla de *comportamiento territorial*. Su causa principal puede ser la competencia por los recursos alimentarios, pero también hay otras causas de competencia: los lugares para anidar o para refugiarse, los territorios para el apareamiento durante la época de celo, etc. Por eso muchos comportamientos territoriales son temporales.

Cuando los animales de una misma especie se agrupan y forman sociedades, la agresividad dentro del grupo suele estar inhibida por alguna característica que comparten todos los miembros del grupo. En los conejos y las ratas todos los miembros de un grupo comparten un determinado olor, de manera que si, por ejemplo, se marca una rata de un grupo con orina de una rata extraña, desencadena la agresividad de las otras. En otros casos los miembros de un grupo se conocen individualmente entre sí (esto se da sobre todo en los animales superiores). El estudio de las sociedades animales más complejas ha demostrado que en los inferiores —los insectos— la mayoría de los comportamientos sociales son innatos, muy rígidos en su manifestación. En cambio, en los vertebrados superiores —aves y mamíferos— los procesos de aprendizaje y el reconocimiento individual suelen desempeñar un papel muy importante en la organización social.

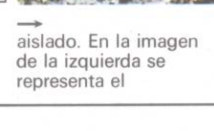
postura
de sumisión

postura
de dominación

Véase **Aprendizaje animal; Evolución; Evolución animal; Reflejo condicionado; Sociobiología**

→ especies de cérvidos y de bóvidos se realiza frotando las ramas con la secreción de las glándulas preorbitales El lenguaje social de los animales incluye unos gestos o posturas especiales con los que se comunican sus "intenciones" los ejemplares de una misma especie. En la página anterior, arriba, a la derecha, actitudes de comunicación en los rebecos, y en esta página, arriba, en la gacela de Grant. Cada grupo de animales sociales tiene distintos modelos de comportamiento, unas veces complicados y otras sencillos, que contribuyen a unir al individuo con su grupo. La principal ventaja de la vida social es el beneficio que proporciona el número, como en el caso de estos pingüinos. La vida en grupo, además, tiene efectos estimulantes si se la compara con la del individuo aislado: el ejemplo de los demás a la hora de realizar ciertos actos hace que el individuo que vive en grupo madure antes que otro de la misma especie que viva →





Dr. Pellegrini

→ aislado. En la imagen de la izquierda se representa el comportamiento social altruista de los delfines cuando está herido uno de ellos: en ese caso lo sostienen con sus aletas.

Evolución

Los mayores descubrimientos de la ciencia siempre han desencadenado vivas polémicas, y la teoría de la evolución no ha sido una excepción a esta regla. Fue presentada por los naturalistas ingleses Charles Darwin y Alfred Russel Wallace en 1858, y constituyó un decisivo acontecimiento en la historia de la ciencia, que en ciertos sectores se tomó como un ultraje y provocó encendidas disputas (que aún continúan en nuestros días).

La teoría de Darwin sobre el "origen de las especies" afirma que las distintas especies de plantas y animales no fueron creadas una por una, sino que proceden todas ellas de antiquísimos progenitores comunes. "Las especies no permanecen siempre iguales", dijo Darwin, "sino que se ven implicadas constantemente en un proceso de cambio lento y gradual." Estas ideas no eran completamente nuevas en la época de Darwin y Wallace, pero el "origen de las especies" era la exposición más completa y comprensible de una cuestión que jamás se había presentado. Darwin acuñó el término de "selección natural" para describir el principio con el que opera la evolución. Según el "origen de las especies", todas las plantas y animales están en continua lucha por la supervivencia. Los animales tienen muchos más hijos de los que en realidad pueden llegar al estado adulto, y los que sobreviven son los vencedores de una competición en la que los perdedores son castigados con la muerte. Las actuales jirafas son las vencedoras de una larga lucha por alcanzar las hojas más tiernas de las copas de las acacias, y los fulminantes leopardos son los vencedores en la caza de los ágiles y veloces antílopes.

Como ejemplo de la forma en que opera la selección natural en la formación de las especies, Darwin indicó las catorce especies de pinzones que observó en las islas Galápagos, un pequeño archipiélago cerca de la costa del Ecuador. Cada tipo de pinzón comía distintos tipos de fruta, semillas, etc., y tenía el pico con una forma distinta. Darwin observó que la forma del pico tenía una neta relación con el tipo de alimento que comía el ave: los picos más fuertes servían para romper las semillas más coriáceas, mientras que los más débiles se utilizaban para picar las semillas tiernas o las bayas. Además, observó que las catorce especies eran similares a un tipo de pinzón de América del Sur. "Hechos como éste", escribía Darwin, "así como otros muchos, sólo se pueden explicar si se parte de la suposición de que las especies sufren modificaciones graduales...."

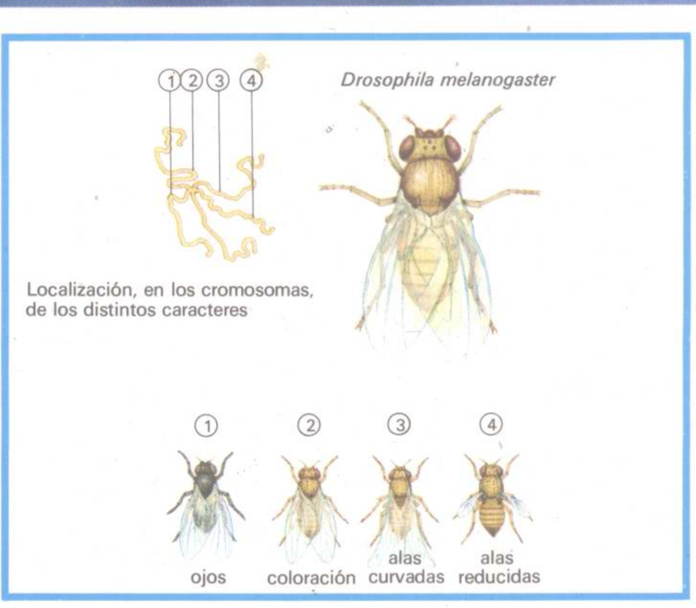
Darwin sugirió que las aves de las Galápagos descendían de los pinzones que en épocas muy remotas se habían trasladado a las islas desde Ecuador. La competición entre las aves por los distintos tipos de semillas y frutas ha favorecido la supervivencia de aquellos pinzones cuyas características les hacían capaces de alimentarse de cualquier tipo de comida. Como los pinzones de pico grueso tenían más habilidad a la hora de romper las semillas coriáceas y alimentaban a su prole con carne, la naturaleza realizó una selección a su favor. Sus mandíbulas, más robustas, les ayudaron en la lucha por el alimento, permitiéndoles vivir más tiempo y tener un número mayor de crías que los pinzones con un pico más débil que se alimentaban de las mismas semillas; de esta forma las nuevas generaciones recibieron como herencia el pico grueso. Las afirmaciones de Darwin también tuvieron consecuencias desafortunadas, pues sugerían que el único criterio válido de cada acción reside en su valor para la supervivencia. Un punto débil de la teoría de Darwin era que no podía explicar cómo y por qué unos pequeños cambios en los individuos podían crear especies completamente nuevas. Y menos aún el hecho de que algunas poblaciones de una especie determinada podían dar origen a otra, mientras que otras poblaciones permanecían inalteradas. Darwin creía que este hecho tenía que estar relacionado de alguna forma con la reproducción y la herencia, pero sólo en 1930 se llegó a formular una hipótesis para explicar el fenómeno. Más adelante, los genetistas Theodosius Dobzhansky, Sewall Wright, J. B. S. Haldane y otros volvieron a formular la teoría de la evolución, sintetizando y enriqueciendo con nuevos datos y premisas todo el material que tenían a su disposición. Nació de esta forma la "Síntesis Moderna", la teoría de la evolución que hoy se acepta universalmente.

Partiendo de los datos suministrados por la Paleontología (el estudio de la vida prehistórica a través de los fósiles), la Anatomía comparada (el estudio de las diferencias físicas entre las distintas especies animales) y la Genética de poblaciones (el estudio de la herencia en grupos de individuos de una determinada especie), Dobzhansky sugirió que el origen de muchas mutaciones se puede explicar sirviéndose al mismo tiempo de la teoría de Darwin y de los principios de la Genética. Según la teoría de la "Síntesis Moderna", las mutaciones evolutivas tienen lugar en el interior del núcleo central de las células. En el núcleo de todas las células de cualquier ser vivo existen unas estructuras filamentosas llamadas *cromosomas* que están formadas esencialmente por ADN (ácido desoxirribonucleico), una sustancia química muy compleja cuyas largas moléculas son capaces de crear duplicados de sí mismas. El ADN suministra una especie de "programa" para la construcción de todo el organismo, ya se trate de una orquídea, un insecto o un ser humano. Las porciones de moléculas de ADN, que reciben el nombre de *genes*, determinan cada uno de los caracteres físicos. Puede haber un gen para los ojos azules, por ejemplo, y otro para los ojos castaños. Pero por lo general son varios los genes que interactúan para producir un carácter determinado que luego se modifica con el desarrollo. Un ejemplo a este respecto es el color de la piel humana: un número desconocido, pero presumiblemente elevado, de genes contribuye a dar un color determinado a la piel. Sin embargo, el tono exacto depende del régimen de cada persona, de su exposición a los rayos solares y de otros muchos factores que no tienen nada que ver con los genes.



Mutación El ADN es una sustancia tan compleja y frágil, que puede sufrir fácilmente pequeños cambios de algunas de las partes que lo componen. Cuando una molécula de ADN se duplica, puede haber un error que supone un cambio en el orden de sus componentes. Las radiaciones del Sol y otras fuentes de luz, y también ciertos agentes químicos, pueden interrumpir violentamente la operación de los genes. Estas alteraciones reciben el nombre de *mutaciones*, y se ponen de manifiesto de varias formas; los genetistas han dedicado decenios enteros a catalogar y tratar de entender las mutaciones.

La historia natural de los seres vivos se inició hace más de tres mil millones de años. En la atmósfera y en el agua había distintos compuestos químicos, que se combinaron formando materia orgánica, lo que es llamado el *caldo primordial*.
Este acontecimiento, que en parte se puede reproducir en el laboratorio, dio origen a los primeros seres vivos. A partir de las formas más primitivas fueron surgiendo otras formas cada vez más complejas.
Una teoría bien documentada, llamada precisamente *teoría de la evolución,* explica con toda clase de detalles la enorme serie de cambios y transformaciones que han tenido lugar a lo largo de miles de millones de años hasta llegar a las formas actuales. En el material genético, concretamente en los cromosomas, de la llamada mosca de la alfalfa (*Drosophila melanogaster;* puede verse en el cuadro de la derecha) se ha podido localizar recientemente aquellos genes que determinan los distintos caracteres. Por lo tanto, también en el laboratorio se pueden seguir a lo largo de un tiempo las transformaciones de las características. Los genéticos, pues, son capaces de conocer los mecanismos de la evolución.



Muchas de ellas, si no la mayor parte, no provocan cambios visibles, ya sea porque el gen en cuestión no tenía una importancia primordial en el organismo, ya sea porque su efecto estaba enmascarado por el de otros genes. Cuando hay mutaciones visibles, suelen ser perjudiciales. En los hombres, por ejemplo, ciertos defectos de nacimiento se deben a mutaciones, como en el caso de los niños que nacieron con deformaciones a consecuencia del bombardeo de Hiroshima y Nagasaki. No obstante, algunas mutaciones pueden ser beneficiosas, como la mutación de los picos de los pinzones.

Todas las mutaciones beneficiosas son aceptadas. Los pinzones con pico grueso pueden sobrevivir con más facilidad y tener una prole más abundante, de forma que en la siguiente generación los pinzones portadores de esta mutación serán más numerosos. Esta nueva generación tendrá una descendencia de picos gruesos, que a su vez aumentará su proporción en una tercera generación, hasta llegar a toda una población de pinzones de pico grueso.

Lagunas en la documentación fósil La Biología evolucionista ha dirigido su atención al estudio de los fósiles, como prueba de un proceso que ha gobernado la vida desde sus inicios, hace muchos millones de años.

Realmente, el desarrollo gradual de la vida, primero en el mar y luego sobre la tierra, parecía encajar en esta visión. El problema era que la documentación suministrada por los fósiles tenía demasiadas lagunas.

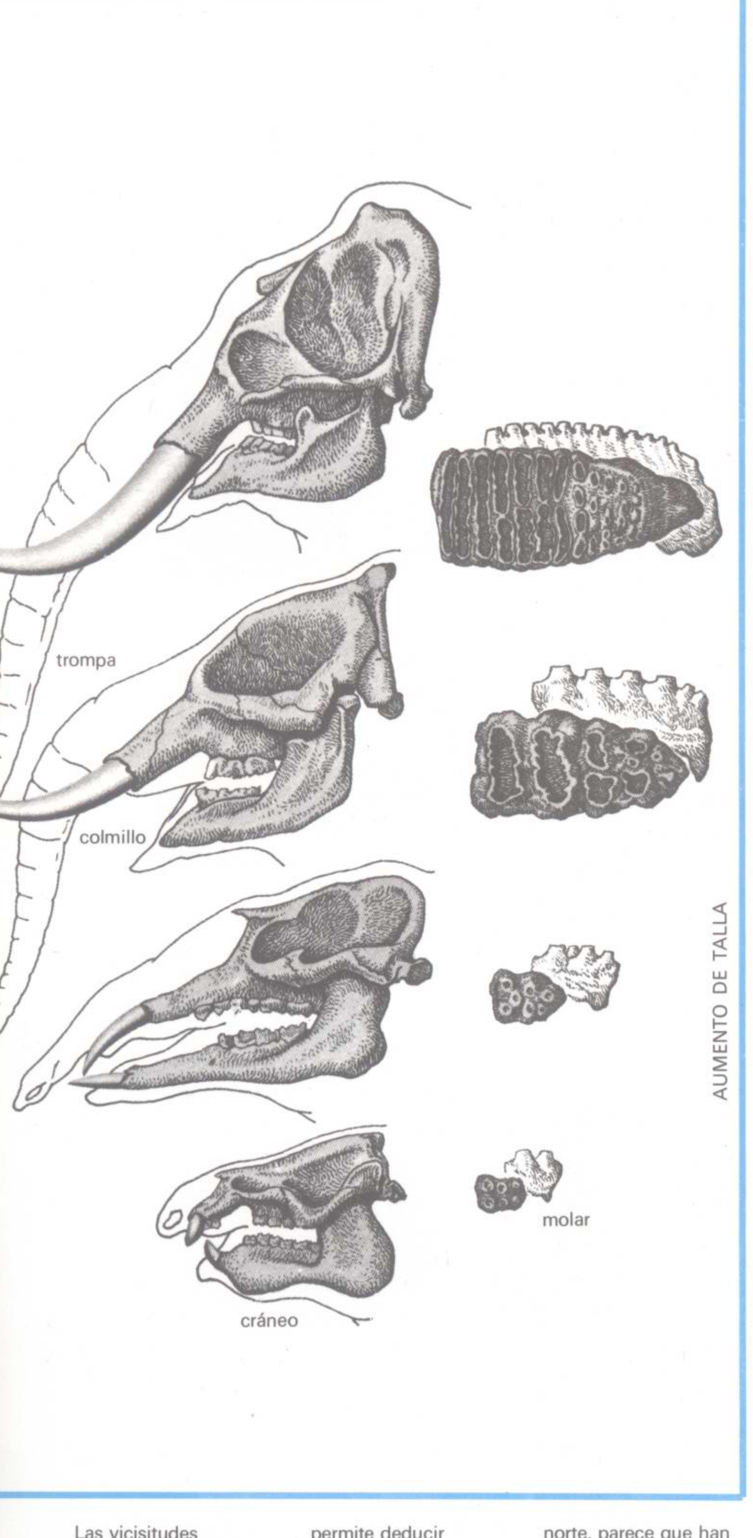
Los paleontólogos descubrieron relativamente pocas formas de transición entre unas especies y otras, los llamados "eslabones perdidos". Parecía como si las especies hubieran aparecido de la nada, como si hubieran permanecido inmutables durante millones de años, y después hubieran evolucionado súbitamente para dar lugar a otras especies (para los paleontólogos, "súbitamente" puede ser en menos de un millón de años).

Genetistas como Dobzhansky y Ernest Mayer fueron capaces de demostrar, con el estudio de la mosca de la fruta en el laboratorio, la difusión gradual de nuevos genes, así como multitud de mecanismos genéticos más complejos. Pero seguía siendo difícil probar que lo que ocurría en el laboratorio representaba, en escala reducida, el grandioso proceso evolutivo del pasado. Durante decenios, los biólogos evolucionistas consideraron que sólo cuando se completara el registro de los fósiles se podría poner de manifiesto completamente el fenómeno evolutivo.

Equilibrio intermitente En los años setenta, los paleontólogos Niles Eldredge, del American Museum of Natural History, y Stephen Jay Gould, de la Harvard University, elaboraron una nueva teoría de la evolución, llamada del "equilibrio intermitente." Aceptando íntegramente los datos suministrados por los fósiles, lanzaron la hipótesis de que la lucha por la supervivencia de los individuos producía por lo general unos cambios muy pequeños. Por ejemplo, puede haber una variación en el número de personas con un color de piel determinado, pero sería inverosímil la eliminación total del gen de ese color, y aún más inverosímil que el color de la piel sufriera cambios.

Cuando aparecen nuevas especies, según esta teoría, no son el "producto final" de una especie preexistente. Lo que ha-

A partir del estudio de los restos fósiles de animales que vivieron en el pasado se pueden reconstruir las vicisitudes evolutivas que han dado origen a las formas actuales. En el cuadro situado entre las dos páginas, sobre estas líneas, se representa el origen de los elefantes. Partiendo de los Meritéridos, se han separado dos ramas, en el lejano Oligoceno. Una de estas dos, la de los Dinotéridos, se extinguió en el Plioceno; en la misma época, en cambio, existían los lejanos antepasados de los actuales elefantes, como los *Trilophodon*. A partir de éstos se originó el *Mastodon* del Pleistoceno, que más tarde desaparecería.



Lemur macaco fulvus
Lemur macaco macaco
Lemur macaco sanfardi
Lemur macaco albifrons
Lemur macaco rufus
Lemur macaco collaris
Lemur mongoz coronatus
Lemur mongoz mongoz
Lemur catta

Montaña de Ambra
Tananarive
MADAGASCAR
Trópico de Capricornio
10°
15°
20°
25°
45°
50°

Las vicisitudes evolutivas de los Proboscídeos antiguos incluyen diversas transformaciones en el cráneo, en los dientes molares y en la trompa. Al mismo tiempo ha habido aumento en la talla, mientras que las formas pequeñas, que solían ser insulares, se han ido extinguiendo. La distribución de las especies también permite deducir importantes informaciones acerca de su origen evolutivo. En Madagascar (como se ve en el esquema de la derecha), varias especies y subespecies de Lemúridos (mamíferos primates arborícolas de costumbres nocturnas) presentan variaciones de color de norte a sur de la isla. En la montaña de Ambra, al norte, parece que han existido condiciones favorables para una intensa formación de nuevas especies y variedades. Estas últimas se habrían difundido, conquistando nuevos territorios y transformándose progresivamente. Hay dos especies (*L. fulvus* y *L. mongoz*) que habitan también en las islas Comores.

cen, más bien, es separarse de una especie preexistente a intervalos imprevisibles, apareciendo casi de improviso y coexistiendo con sus antepasados. Ambas especies pueden competir para la supervivencia, lo que da como resultado que una de las dos o ambas desaparezcan; también pueden coexistir durante mucho tiempo, hasta que una eventual catástrofe natural borre a una de ellas o a las dos a la vez.

Además, Gould se opone a la idea darwiniana de que la mayoría de los caracteres es el resultado de la selección natural. El color de los ojos de los pinzones, por ejemplo, podría no ser más que un co-producto accidental del desarrollo del pico, en el caso de que los genes responsables del pico estuvieran relacionados con el color de los ojos.

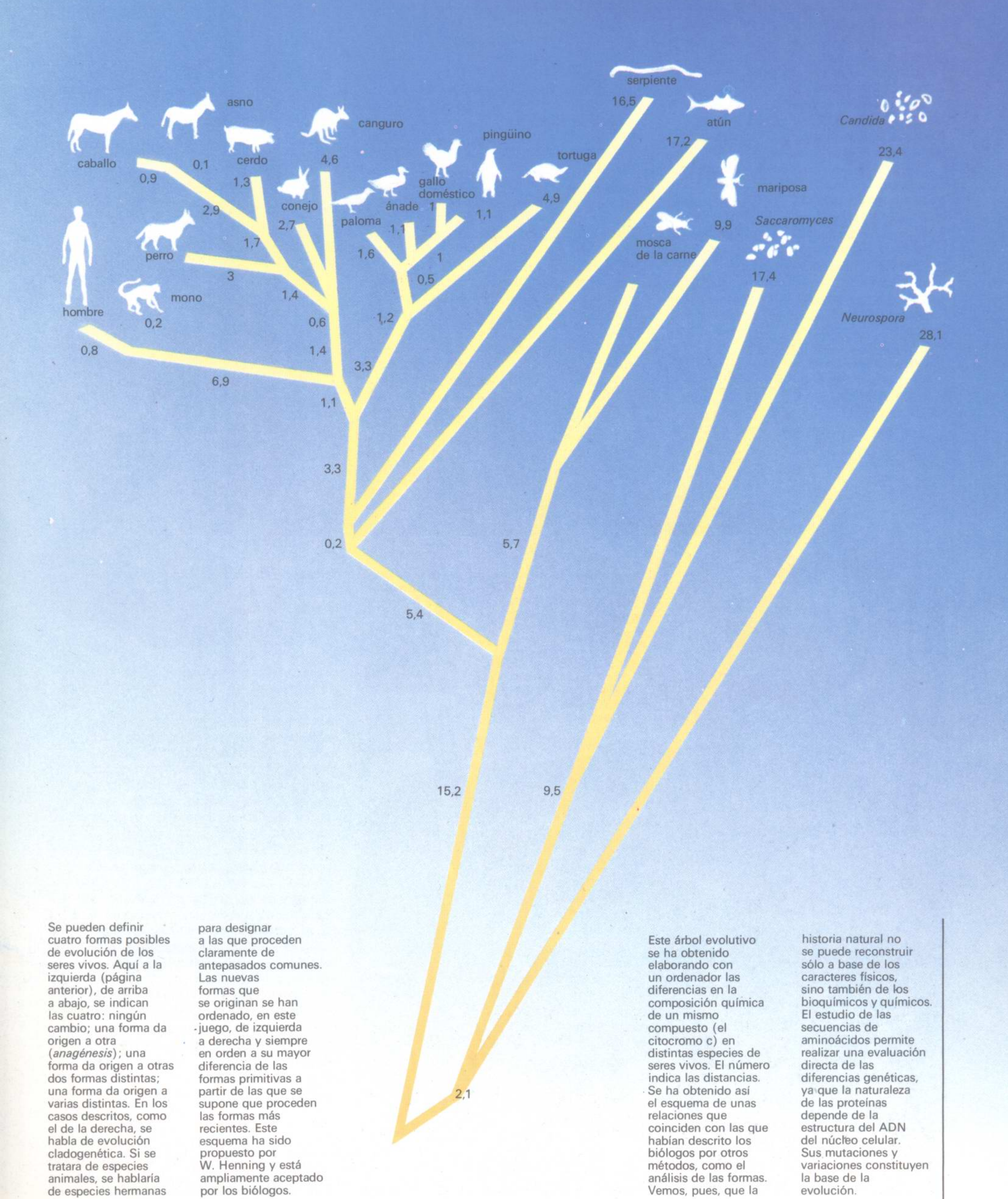
Continua discusión Las modalidades exactas de formación de nuevas especies son objeto todavía de vivas discusiones. Gould y otros partidarios de la nueva escuela afirman que la *especiación* (término con el que se denomina el proceso de formación de las especies) tiende a verificarse cuando un pequeño grupo de individuos permanece aislado del resto de la especie, en un contexto diferente. Estas condiciones podían haber tenido lugar realmente cuando los primeros y poco numerosos pinzones volaron a las Galápagos. Cuando los miembros de un grupo son escasos, lo que le pueda suceder a un miembro de ese grupo adquiere gran importancia. Los grandes cambios en la frecuencia de los genes preexistentes pueden verificarse con rapidez. Por ejemplo, si tenemos cuatro pájaros, dos machos y dos hembras, y uno de los machos se muere, cualquier mutación del otro macho se transmitirá a toda la descendencia. Los que estudian las poblaciones y han observado las lentas evoluciones de las moscas de la fruta en sus laboratorios se oponen a esta idea, poniendo el acento en la importancia de la selección natural en grandes poblaciones; en realidad, no existe ninguna contradicción entre los dos procesos.

Efectivamente, las dos tendencias difieren simplemente en considerar la evolución como una escalera o bien como una rampa uniforme. No obstante, los defensores de ambas teorías reconocen el gran mérito de la teoría de Darwin.

Véase **Cromosoma; Gen; Mutación**



Para explicar mejor los mecanismos evolutivos se utilizan modelos a base de juguetes y simulaciones electrónicas. El monigote que aparece sobre estas líneas o el esquema de aquí abajo son ejemplos de ello. No sólo se pueden describir, sino también medir los distintos tipos de evolución, expresando con valores numéricos convencionales la importancia de los caracteres propios de cada especie.



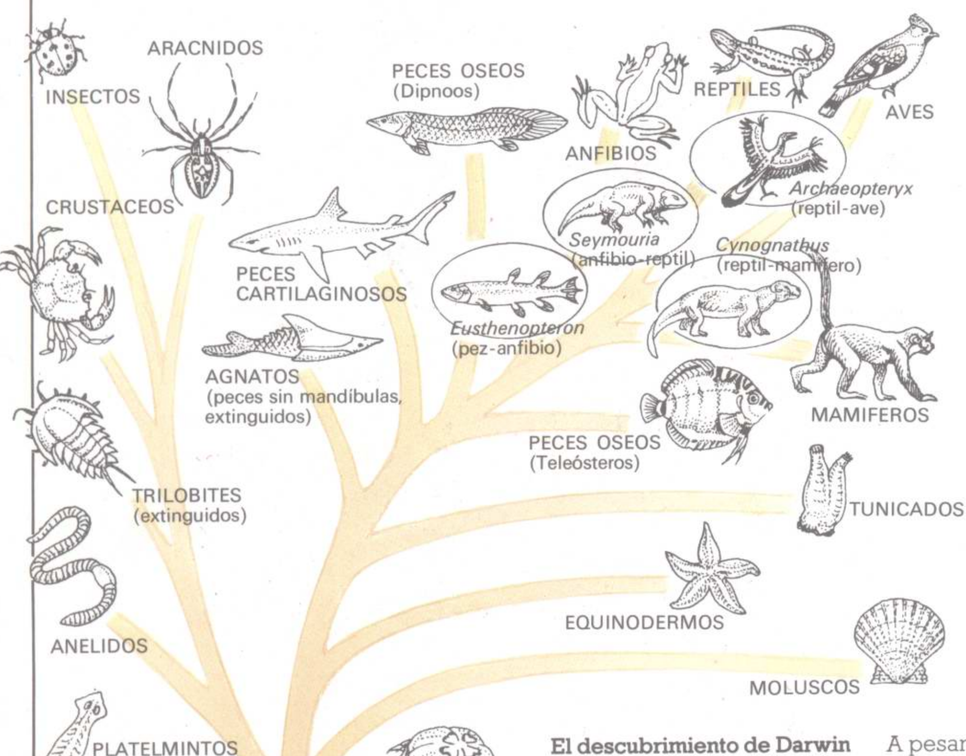
Se pueden definir cuatro formas posibles de evolución de los seres vivos. Aquí a la izquierda (página anterior), de arriba a abajo, se indican las cuatro: ningún cambio; una forma da origen a otra (*anagénesis*); una forma da origen a otras dos formas distintas; una forma da origen a varias distintas. En los casos descritos, como el de la derecha, se habla de evolución cladogenética. Si se tratara de especies animales, se hablaría de especies hermanas para designar a las que proceden claramente de antepasados comunes. Las nuevas formas que se originan se han ordenado, en este juego, de izquierda a derecha y siempre en orden a su mayor diferencia de las formas primitivas a partir de las que se supone que proceden las formas más recientes. Este esquema ha sido propuesto por W. Henning y está ampliamente aceptado por los biólogos.

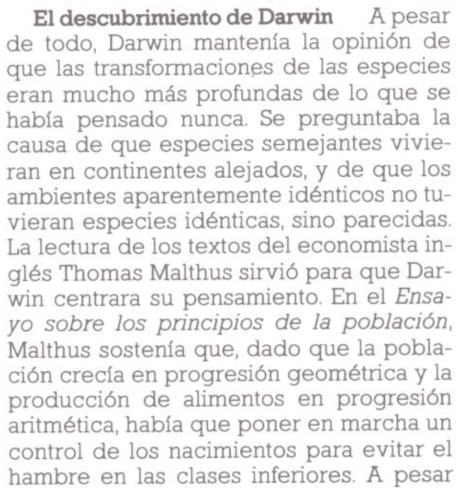
Este árbol evolutivo se ha obtenido elaborando con un ordenador las diferencias en la composición química de un mismo compuesto (el citocromo c) en distintas especies de seres vivos. El número indica las distancias. Se ha obtenido así el esquema de unas relaciones que coinciden con las que habían descrito los biólogos por otros métodos, como el análisis de las formas. Vemos, pues, que la historia natural no se puede reconstruir sólo a base de los caracteres físicos, sino también de los bioquímicos y químicos. El estudio de las secuencias de aminoácidos permite realizar una evaluación directa de las diferencias genéticas, ya que la naturaleza de las proteínas depende de la estructura del ADN del núcleo celular. Sus mutaciones y variaciones constituyen la base de la evolución.

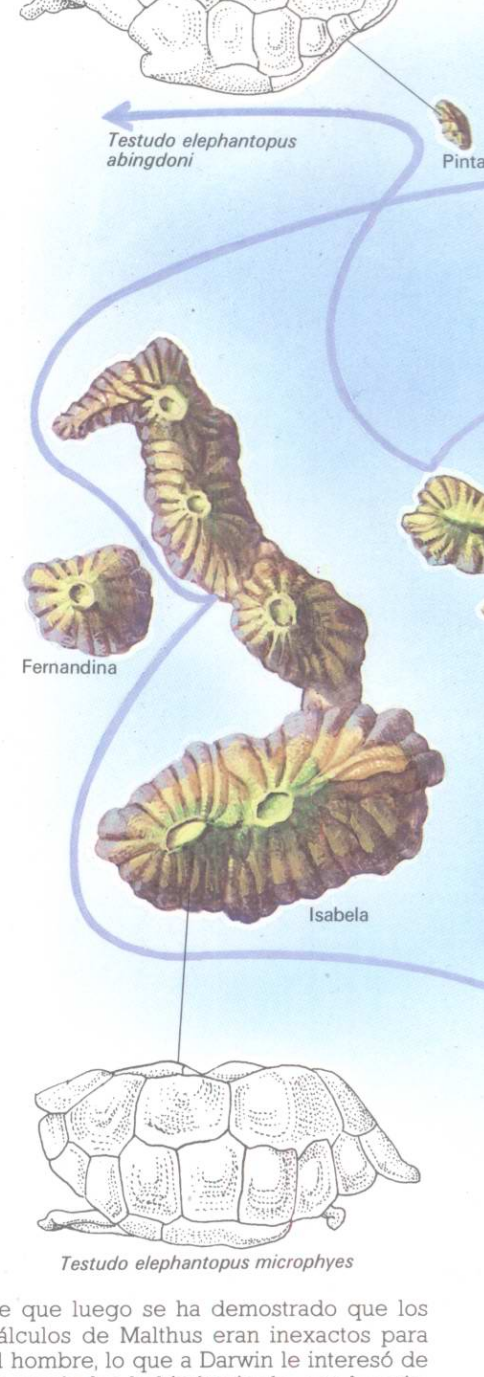
Evolución animal

Cuando hoy leemos esta anotación: "ver bostezar a un perro, a un caballo o a un hombre nos hace percibir que todos los animales están construidos en realidad a partir de una única estructura", seguramente no podemos evitar una sonrisa, pero en 1837, cuando el naturalista inglés Charles Darwin hizo esta observación, sabía que la teoría de la evolución que estaba formulando iba a cambiar el curso de la ciencia. También sabía que sus ideas se iban a considerar heréticas, por lo que durante veinte años estuvo trabajando calladamente. En efecto, en su época prevalecía en los medios oficiales la opinión de que las especies animales no se transformaban, sino que existían tal como Dios las había hecho en el momento de la Creación, siguiendo un orden jerárquico en cuya cúspide se encontraba el hombre; las teorías que se apartaban de esta interpretación se tachaban de heréticas, y sus autores se veían obligados a renegar de ellas.

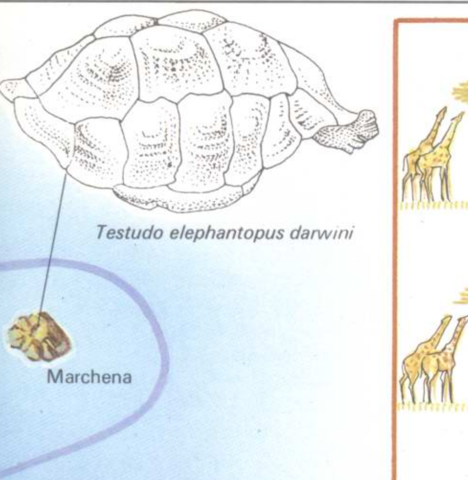
Una teoría aceptada por la autoridad eclesiástica fue la que presentó el naturalista francés Lamarck en 1809. Su postulado se basaba en dos puntos fundamentales: 1) los seres vivos, tendiendo a perfeccionarse, en lugar de simplificarse se vuelven cada vez más complejos; 2) las transformaciones que se observan en las especies animales son la respuesta a un *sentiment intérieur* (sentido interno) que permite a la especie "saber" por anticipado las transformaciones que son necesarias para su supervivencia. Esas transformaciones formarían parte de un "Gran Designio" divino, y los *sentiments intérieurs* serían indicios que el "Gran Diseñador" comunicaba a sus criaturas. El corolario de la primera afirmación de Lamarck era que los organismos simples se originaban espontáneamente (teoría de generación espontánea). Ya en vida de Lamarck, el químico francés Louis Pasteur demostró que esa teoría no era cierta; también lo hizo el naturalista italiano Lazzaro Spallanzani.



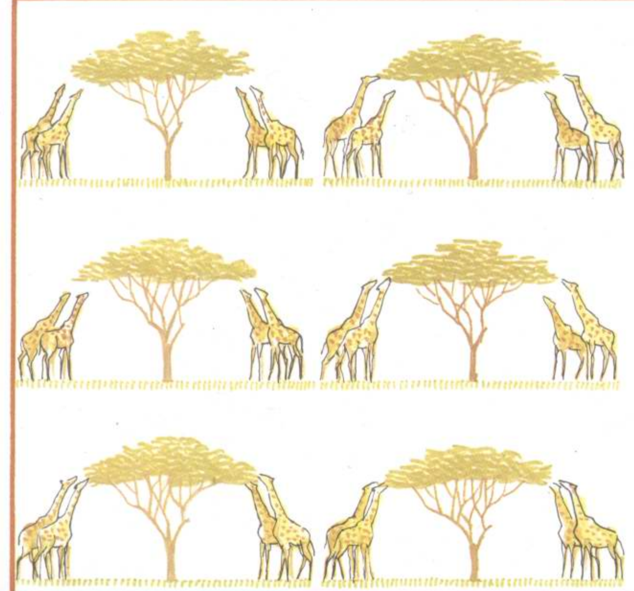




El descubrimiento de Darwin A pesar de todo, Darwin mantenía la opinión de que las transformaciones de las especies eran mucho más profundas de lo que se había pensado nunca. Se preguntaba la causa de que especies semejantes vivieran en continentes alejados, y de que los ambientes aparentemente idénticos no tuvieran especies idénticas, sino parecidas. La lectura de los textos del economista inglés Thomas Malthus sirvió para que Darwin centrara su pensamiento. En el *Ensayo sobre los principios de la población*, Malthus sostenía que, dado que la población crecía en progresión geométrica y la producción de alimentos en progresión aritmética, había que poner en marcha un control de los nacimientos para evitar el hambre en las clases inferiores. A pesar de que luego se ha demostrado que los cálculos de Malthus eran inexactos para el hombre, lo que a Darwin le interesó de su teoría fue la hipótesis de que la existencia estuviera determinada por una lucha contra las transformaciones del medio, que en este caso consistía en la reducción de los recursos alimentarios, de forma que sólo aquéllos que lograran desarrollar los medios adecuados para seguir alimentándose podrían seguir reproduciéndose. De todas formas, cuando en 1838 Darwin escribió en su diario: "En estas condiciones, las modificaciones útiles (ante las transformaciones del medio) tenderían a conservarse, y las inútiles a destruirse", no se refería concretamente a la población humana. Las modificaciones útiles se conservarían gracias a una "fuerza creadora" que él

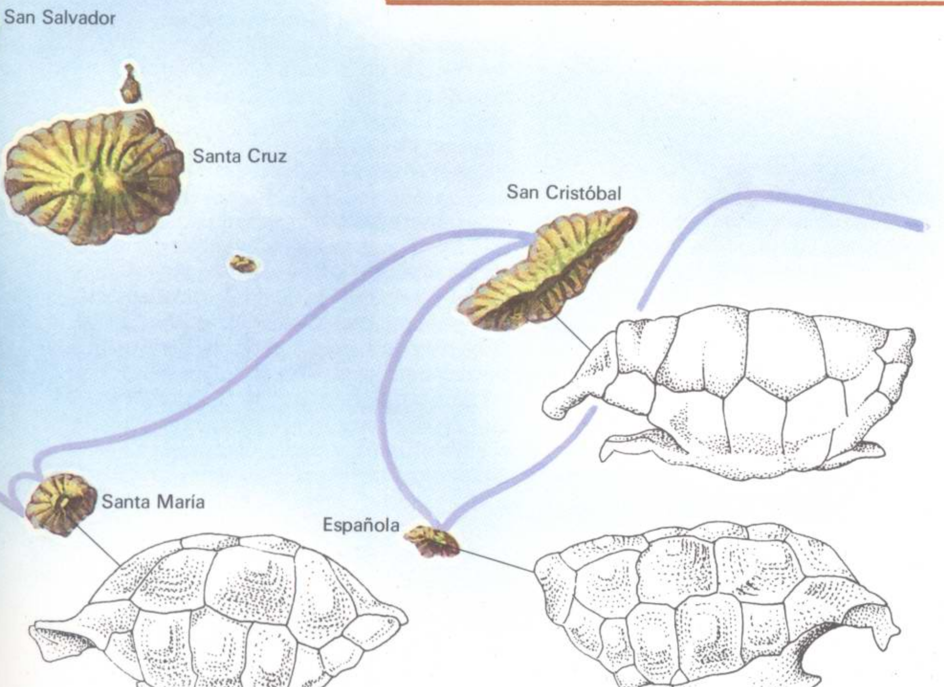


Testudo elephantopus darwini



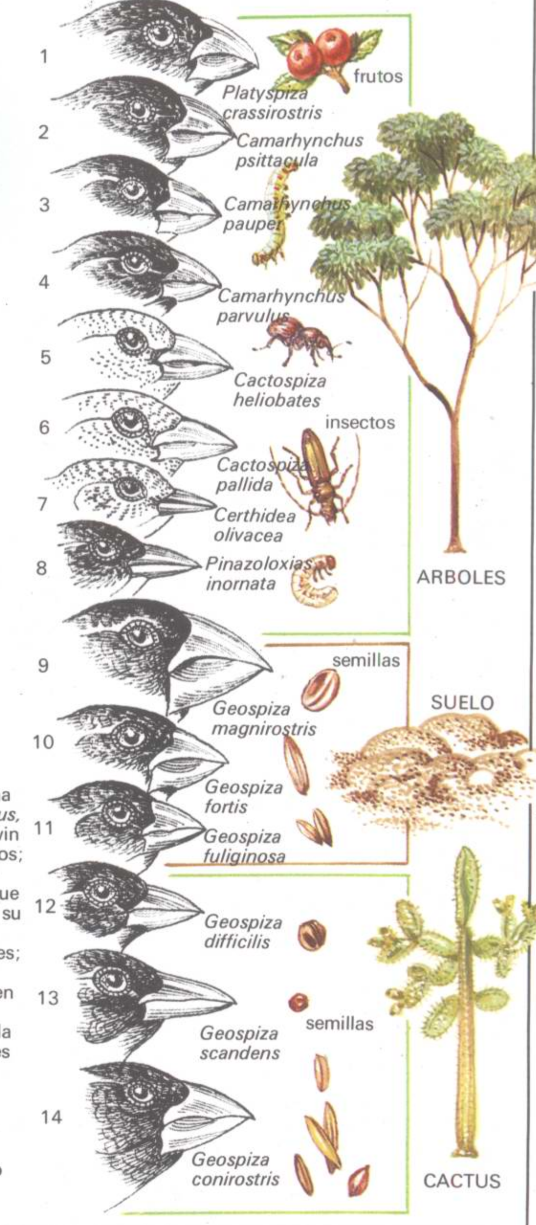
TEORIA DE LA EVOLUCION SEGUN LAMARCK Y SEGUN DARWIN

En estos bocetos se representan dos concepciones de la evolución muy debatidas: la de Lamarck (a la izquierda) y la de Darwin (a la derecha). La primera se basa en la adaptación progresiva de los organismos vivos a las exigencias ambientales, y concretamente a las de la alimentación que les asegura la existencia. Lamarck sostenía que un organismo se puede adaptar al ambiente y transmitir esa adaptación a sus descendientes. El ejemplo clásico es la jirafa de cuello corto, que para poder comer habría logrado estirar su cuello en un tiempo relativamente breve, lo que equivalía a su supervivencia. En cambio, la teoría de Darwin se basa en la selección natural, que depende de las variaciones individuales: los individuos genéticamente no competitivos van desapareciendo poco a poco de determinados ambientes, y sólo quedan los que han sufrido variaciones favorables.



Testudo elephantopus elephantopus

Testudo elephantopus hoodensis



llamaba *selección natural*. Era éste el último de los tres puntos en los que estaba basada su teoría de la "descendencia con modificaciones" de las especies a partir de sus progenitores. El primer punto decía simplemente que los seres vivos son mutables y transmiten a sus descendientes sus propias modificaciones. El segundo punto establecía que los seres vivos producen un número mayor de descendientes que los que son capaces de sobrevivir. Este último punto, junto con el tercero, sólo aseguraba la supervivencia de una generación sucesiva en un ambiente en transformación.

Darwin puso en evidencia que la selección natural no era, ni mucho menos, la "exterminadora" de aquellos que no se adaptaban al ambiente. Tal afirmación im-

En la página anterior, árbol filogenético de los seres vivos. Partiendo de organismos unicelulares sin núcleo (procariotas), se llegó hace unos 1.500 millones de años a las primeras células de eucariotas (con verdadero núcleo), que a su vez dieron origen a los organismos pluricelulares. Dentro de los óvalos se representan los principales "eslabones de unión" entre los grupos actuales de vertebrados. En el dibujo central vemos los distintos caparazones de las principales subespecies de la tortuga sudamericana *Testudo elephantopus*, estudiadas por Darwin en las Islas Galápagos; gracias a ellas pudo confirmar la teoría que se iba fraguando en su mente acerca del origen de las especies; junto a los caparazones aparecen las islas donde vive cada subespecie. A la derecha, los pinzones de Darwin, con sus hábitats y fuentes de alimentación preferidas. Dependiendo de la alimentación, el pico de los pinzones se había modificado.

plicaría por parte de los animales cierto "conocimiento" o "elección", algo así como una lamarckiana "modificación deseada", concepto al que Darwin se oponía enérgicamente. Para él las modificaciones tenían lugar al azar, sin que interviniera ningún "Gran Proyecto". Por esta razón se cuidó mucho de llamar a su idea teoría de la "evolución", ya que el mismo término *evolución* implicaba una idea de progreso. Fue más tarde cuando se generalizó el uso del término *evolución;* Darwin no habló más que de "descendencia con modificaciones". La selección natural significa, simplemente, que los organismos se adaptan a su hábitat gracias a las modificaciones casuales que demuestran ser útiles frente a las condiciones ambientales.

Se experimenta la selección natural Un experimento realizado a principios de los años cincuenta por el físico inglés H. D. B. Kettlewell ilustra perfectamente el mecanismo de la selección natural. Se había observado que en los últimos cien años la casi totalidad de las falenas (un tipo de mariposas) de las áreas industriales se habían vuelto melánicas, es decir, de color oscuro. Kettlewell sabía, antes de iniciar el experimento, que el melanismo era un carácter hereditario. Partía de la hipótesis de que la preponderancia de falenas de color oscuro en las áreas industriales era un indicio de que el ambiente favorecía esa modificación. Para comprobarlo, soltó 601 falenas melánicas y 201 falenas típicas (de color claro) en un bosque cercano a Birmingham; al cabo de un tiempo, volvió a capturar el 34,1% de las falenas oscuras, y sólo el 16,1% de las claras, y comprobó que los troncos de los árboles de las zonas contaminadas eran más oscuros. Entonces dedujo que las falenas oscuras se podían mimetizar mejor para defenderse de los depredadores. También realizó otro experimento, soltando un número igual de falenas claras y oscuras en bosques no contaminados y en bosques contaminados. En el primer caso, los pájaros acabaron con 26 falenas claras y 164 oscuras, mientras que en los bosques contaminados cayeron 42 claras y 15 oscuras. En la actualidad, los planes contra la contaminación, que en aquella época no existían, han limpiado muchas zonas industriales inglesas, y en los últimos veinte años ha aumentado el porcentaje de falenas de color claro. En este experimento de Kettlewell se comprueban algunos de los puntos fundamentales de la teoría de Darwin. En esa especie de falenas, el tipo melánico siempre había sido bastante raro, y el melanismo era una variación totalmente casual. Al transformarse el ambiente (cuando los troncos de los árboles se volvieron oscuros), las falenas que habían sufrido esta variación podían sobrevivir con más facilidad, ya que los pájaros no las veían cuando se posaban en sus ramas y troncos; entonces la modificación se convirtió en un factor útil para la supervivencia, y las falenas melánicas empezaron a predominar. Resulta especialmente significativo el hecho de que las falenas claras empezasen a proliferar en cuanto su hábitat empezó a aclararse. Hoy día se pueden encontrar los dos tipos de falena; en los bosques cuyos árboles tienen tronco oscuro viven las falenas oscuras, y en aquéllos donde los árboles son de tronco claro predominan las falenas claras. Con ello se demuestra también la intuición que tuvo Darwin de que las nuevas especies son el resultado de una serie de pequeñas modificaciones, y no de una transformación radical; por ejemplo, en el caso de las falenas se ha modificado únicamente el color.

El genotipo y el fenotipo En 1865 el botánico austriaco Gregor Mendel demostró que los caracteres hereditarios se transmiten de padres a hijos a través de los genes. Hay unos genes que controlan caracteres dominantes, y otros que controlan caracteres recesivos. Por sí solos, los genes no controlan la manifestación de los caracteres en los descendientes; lo que hacen es proporcionar una estructura o unos límites. El desarrollo de los descendientes depende del código genético (los genes y su posible combinación) y del ambiente que les rodea. Supongamos que una vaca ha heredado la capacidad de producir 30 litros de leche al día. Si está convenientemente alimentada, será capaz de alcanzar esa producción; pero si no, se quedará por debajo de su capacidad heredada. El carácter hereditario —en este caso, la capacidad para producir 30 litros de leche diarios— se llama *genotipo*, mientras que la producción real de leche, sujeta a la influencia del medio, se llama *fenotipo*.

Obstáculos con los que tropieza el evolucionismo Charles Darwin no pudo demostrar explícitamente su teoría de la selección natural, tal como hizo Kettlewell con las falenas. La falta de pruebas experimentales hizo que tardara en publicar sus ideas, hasta que Alfred Russel Wallace le hizo llegar su propia teoría acerca de la descendencia con modificaciones, que era casi idéntica y estaba basada en las investigaciones de Wallace en Malasia. Ambos, Wallace y Darwin, presentaron un documento conjunto a la Lynnean Society de Londres, el 1 de julio de 1858. En noviembre de 1859 Darwin publicó *El origen de las especies por selección natural o la conservación de la especie en la lucha por la vida*, cuya edición se agotó el primer día.

Las autoridades eclesiásticas se opusieron enérgicamente a una teoría que contradecía de forma tan clara la historia de la Creación tal como se relata en el Génesis. Por supuesto, también molestó a mucha gente. Darwin no pretendía imponer su teoría acerca de la "descendencia con modificaciones", pero podía demostrar unos fenómenos que hasta entonces no habían tenido explicación. En primer lugar se basó en la Anatomía comparada para demostrar un posible origen común de los seres vivos. Los insectos, de los que se ha clasificado cerca de un millón de especies, muestran notables semejanzas anatómicas y fisiológicas. Todos los insectos tienen una cabeza en la que se encuentran la boca y la mayor parte de los órganos sensoriales; un tórax con los músculos de los tres pares de patas; un abdomen en el que se encuentran el aparato digestivo y el reproductor, y uno o dos pares de alas.

En los vertebrados encontramos un ejemplo todavía más claro; los huesos del dedo, de la mano, del antebrazo y del brazo de un hombre se corresponden perfectamente con los huesos del esqueleto de los cerdos marinos, los topos, los murciélagos, los caballos, los perros o los ratones. Sólo la existencia de un antepasado común, decía Darwin, podría explicar estas semejanzas.

Posteriormente, la Embriología proporcionó más pruebas a Darwin. Cuando el embriólogo alemán E. K. Baer escribió a Darwin que tenía dos embriones accidentalmente sin catalogar cuya cabeza y abdomen eran tan parecidos que le resultaba imposible decir si eran de "lagartos, pequeños pájaros o mamíferos", Darwin consideró este caso como una prueba de que los embriones tenían una estructura que procedía del embrión de un antecesor común.

El descubrimiento del *Archaeopteryx* La más extraordinaria confirmación de la teoría de Darwin sobre la transformación de las especies tuvo lugar en 1862. En una cantera de caliza, cerca de Solnhofen (Baviera) se encontró el esqueleto casi completo de una criatura extrañísima. Tenía alas con plumas, las patas

EVOLUCION DEL CABALLO

HOLOCENO — *Equus*

PLEISTOCENO
PLIOCENO — *Pliohippus*

MIOCENO — *Merychippus*

OLIGOCENO — *Mesohippus*

EOCENO — *Eohippus*



Una visión de conjunto de la filogénesis del caballo muestra la existencia de ramas estériles y fértiles: las mismas formas, adaptadas a un ambiente determinado, eran sustituidas por otras en las que se habían producido modificaciones de poca importancia, pero que se revelaron de gran utilidad en determinados períodos.

En lo que respecta a las dimensiones, la altura, la forma del cráneo y los dientes o la transformación del pie, no se puede seguir una línea de descendencia única, sino que hay una "radiación adaptativa" en la que se multiplican los distintos elementos mediante mutación y se seleccionan las formas más aptas. A la derecha, modificación natural de una especie que recibe el nombre de *melanismo industrial*: se trata del geométrido paleártico *Biston betularia* (geómetra del abedul).



SELECCION NATURAL DE LA *Biston betularia*

posteriores con cuatro dedos provistos de uñas, así como los dedos de las patas anteriores, y una larga cola con plumas sostenida por un ensanchamiento de la base de la espina dorsal.

Aunque se le llamó *Archaeopteryx* o "pájaro antiguo", tenía tanto características de reptil como de ave. A las alas les faltaba la condición fundamental para que fueran aptas para el vuelo: no estaban unidas al esternón, y por ello no podían batir con la suficiente fuerza. El *Archaeopteryx* pudo haber usado sus alas para capturar insectos o para lanzarse de rama en rama; probablemente, sus antepasados eran arborícolas y durante un período geológico frío habían desarrollado las plumas como un sistema de aislamiento térmico más eficaz que las escamas. El hecho de que el ave ancestral estuviera bien equipada para trepar —uno de los dedos de las patas estaba dirigido hacia atrás, en oposición a los otros tres, lo que le permitía agarrarse con fuerza— es un dato a favor de la hipótesis de que sus antepasados fueron arborícolas.

Cada una de las transformaciones que condujeron hasta el *Archaeopteryx* —forma incierta entre reptil y ave— se produjo en respuesta a las exigencias del ambiente y fue el resultado de la selección natural, lo mismo que el melanismo de las falenas.

La teoría de la evolución se acepta

Tuvieron que pasar unos diez años para que la gran mayoría de la comunidad científica aceptara las premisas fundamentales de Darwin, aunque la opinión popular seguía muy dividida. Todavía hoy determinadas personas y grupos minoritarios refutan la teoría de Darwin basándose en las ideas religiosas.

Las pruebas de la "descendencia con modificaciones" a través de la selección natural se fueron acumulando. El descubrimiento del ornitorrinco, en 1884, demostró que las especies no sólo se transforman en otras especies, sino también en otros grupos. Este descubrimiento se produjo demasiado tarde para Darwin, que había muerto en 1882.

El ornitorrinco tiene las dimensiones de un conejo y está cubierto de pelo; tiene dedos palmeados con uñas; los sistemas excretor y reproductor desembocan en un orificio posterior llamado *cloaca*,, parecido al de un reptil; además tiene un pico parecido al de un pato, pero flexible y muy sensible para buscar alimento en el lecho de los ríos. A pesar de que vive prácticamente en el agua, es un animal de sangre caliente, que pone huevos y amamanta a sus hijos. Las características típicas de los mamíferos no aparecen todavía: no tiene pezones y los pequeños chupan la leche a través del pelo de su madre.

Estas variaciones pueden parecer caprichosas, pero cada una de ellas ha tenido lugar por separado para perfeccionar la adaptación del ornitorrinco a la vida anfibia.

Desde los tiempos de Darwin, los científicos han ido tratando, con medios cada vez más perfeccionados, de probar la teoría de la evolución. La Serología ha demostrado que distintos animales tienen en su sangre combinaciones de compuestos químicos muy similares. Los bioquímicos han corroborado que la insulina de los seres humanos se parece mucho a la de distintos animales, tales como los cerdos, los perros y los cachalotes. En una molécula de insulina humana hay 51 aminoácidos, y se ha probado que este número apenas varía en la mayoría de las especies animales.

Al igual que las semejanzas anatómicas y fisiológicas, en los animales de cerebro muy desarrollado son también significativas las semejanzas de comportamiento. Es difícil saber con certeza el papel que juega el comportamiento en la herencia, pero se puede asegurar sin lugar a dudas que sobre él también actúa el proceso de selección natural.

Darwin comenzó la demostración de su teoría acerca del origen común de las especies acumulando pruebas sobre la semajanza física. Pero también intuyó que los animales tenían unas cualidades más recónditas. Su último libro sobre los animales se titula *La manifestación de las emociones en el hombre y en los animales*, y en este campo fue un verdadero precursor.

Véase **Animal; Animales, distribución geográfica; Evolución; Gen; Genética; Herencia; Hombre**

Evolución humana

Aunque actualmente está fuera de dudas la relación del hombre con los demás primates, no es posible todavía reconstruir con exactitud la filogenia humana, pero puede afirmarse rotundamente el origen evolutivo de los homínidos a partir de los primates anteriores a él. Los homínidos más antiguos proceden del Africa austral y pertenecen al Pleistoceno inferior; se trata de los *australopitécidos*, cuyos restos fueron descubiertos en 1924 por Dart.

Hasta hace pocos años, la búsqueda de restos fósiles de homínidos era la única fuente de información para construir el esquema filogenético humano. Actualmente la Biología molecular está aportando datos revolucionarios en este sentido, gracias a la analogía encontrada en la secuencia génica y en la estructura de ciertas proteínas humanas con las de otros primates.

En muchos casos, los restos esqueléticos incompletos no permiten diagnosticar con exactitud si se trata de un homínido o de otro primate. Se considera que los restos fósiles auténticamente humanos surgen a partir del *Homo habilis*, ya que se acepta que los *Australopithecus* constituyen una rama lateral en la evolución, y no llegaron a alcanzar el grado "humano". Este se caracteriza por una gran capacidad craneal (los *Australopithecus* no tienen más de 600 centímetros cúbicos; el *Homo habilis* alcanza los 800 cc y el hombre actual supera los 1.000 cc de capacidad craneal); una notable reducción de la región facial, es decir: protrusión de la zona frontal y reducción de la mandíbula inferior, tanto en longitud como en número de piezas dentarias; una posición erecta, mediante la que se consigue una adaptación a la marcha bípeda, y sobre todo un comportamiento complejo, producto de un sistema nervioso muy complejo y desarrollado.

El origen de los homínidos Actualmente se acepta la idea de que el carácter distintivo de los homínidos es precisamente la adaptación a la marcha bípeda con el cuerpo erguido: esta posición implica una serie de características del esqueleto, como la modificación de la cabeza del fémur, el ensanchamiento del hueso ilíaco, la disminución del tamaño del coxis, la modificación de las vértebras cervicales, y el cambio de posición del *foramen magnum* del cráneo. Todas ellas pueden ser reconocidas en los fósiles si están suficientemente bien conservados.

Con este criterio, las revisiones efectuadas sobre el material existente llevan a establecer un esquema de árbol filogenético de los homínidos, en el que se sitúan los *Australopithecus* como los antecesores directos de los homínidos. Se reconocen varias especies de *Australopithecus*: el *A. afarensis* es posiblemente el más antiguo, aunque algunos autores piensan que puede ser contemporáneo del *Ramapithecus*, otro primate fósil cuya posición en el esquema evolutivo es aún discutida. Posteriormente al *Australopithecus afarensis* se encuentran otros tres australopitécidos: *A. africanos*, *A. robustus* y *A. boisei*. Seguidamente, aparecen ya los primeros representantes del grupo de los homínidos: dentro de esta línea, el más antiguo es el *Homo habilis*, el siguiente es el *Homo erectus* y por último el *Homo sapiens*, del que se conocen dos subespecies: *Homo sapiens neanderthalensis* (el "hombre de Neanderthal"), y *Homo sapiens sapiens*, el actual. Algunos especialistas opinan que el *Homo habilis* descendía directamente del *Australopithecus africanus*, siendo el *A. robustus* y *A. boisei* una rama lateral. Otros autores piensan que el *Homo habilis* desciende del *Australopithecus afarensis*, e incluso otros paleontólogos creen que tanto los australopitécidos como los homínidos descienden de un antecesor común, que aún no se ha encontrado, y que podría estar relacionado con formas problemáticas como el *Ramapithecus*.

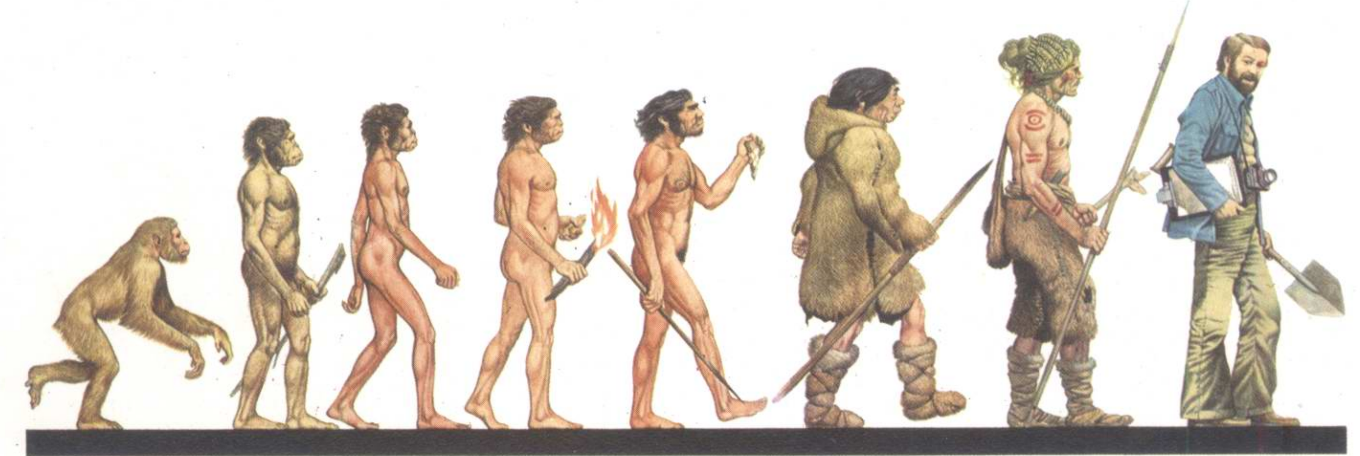
Testimonios moleculares Las analogías moleculares entre distintas especies constituyen uno de los aspectos más interesantes de la Antropología.

A finales de los años sesenta del presente siglo se empezó a trabajar con la seroalbúmina, proteína que se encuentra en la sangre de los vertebrados y cuya misión es transportar los ácidos grasos desde el tejido adiposo hacia otras partes del organismo.

La seroalbúmina, al igual que otras proteínas, puede actuar como antígeno, es decir, es capaz de estimular la formación de anticuerpos. Estos son también proteínas, y se sintetizan en el organismo como respuesta a la presencia de una sustancia extraña, el antígeno.

Una proteína de determinada especie animal, como la seroalbúmina, tiene una estructura molecular distinta de la seroalbúmina de otra especie animal. Cada una de ellas reacciona únicamente con su anticuerpo específico.

Dos antropólogos, Vicent M. Sarich y Allan C. Wilson, utilizaron la reacción antígeno-anticuerpo para mostrar la semejanza molecular entre las seroalbúminas de distintas especies de primates. Estos estudios se basan en que el anticuerpo de la seroalbúmina de una especie animal reaccionará con la seroalbúmina de otra especie siempre que ambas seroalbúminas tengan una estructura muy parecida. Si esto ocurre, significa que ambas especies están evolutivamente emparentadas.



Esquema del probable desarrollo de los homínidos a partir de los primates superiores. Las formas más primitivas poseen aún un cierto cuadrupedialismo. Pueden observarse los caracteres evolutivos más importantes de los homínidos: postura erguida en posición bípeda, pérdida del pelo del cuerpo, pérdida del dedo pulgar oponible en las extremidades inferiores, disminución del tamaño de la zona mandibular y aumento del tamaño de la zona frontal y de las órbitas oculares. Paralelamente, el desarrollo del cerebro va permitiendo la fabricación de utensilios cada vez más complejos, el dominio del fuego, las armas para cazar y defenderse, y, actualmente, las herramientas para facilitarnos el estudio de nuestra propia filogenia.

Basándose en esto, Sarich y Wilson crearon el concepto de *índice de diversidad (i.d.)*, que se utiliza para medir las afinidades bioquímicas entre las especies. Dos albúminas con un índice de diversidad igual a 1 pertenecen a la misma especie. Cuanto mayor sea el índice, tanto mayor será la diferencia evolutiva entre las especies estudiadas.

Estos investigadores mostraron que el índice de diversidad entre un chimpacé y un hombres es de 1,17 (mientras que, por

ejemplo, entre un hombre y un buey es de 20). Entre un chimpancé y un gorila, el índice es de 1,17; entre un hombre y un macaco de América es de 2,38 y entre un hombre y un mono capuchino es de 4,64. Es evidente que este método es un indicador muy útil para determinar la semejanza entre especies.

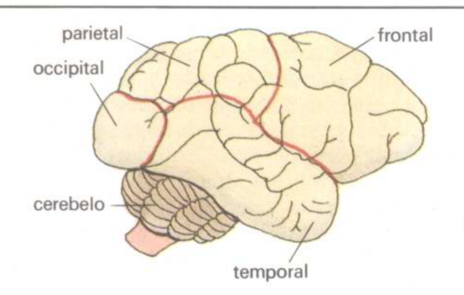
Sarich y Wilson sugirieron que el índice de diversidad podría utilizarse como un "reloj molecular" para determinar cuándo ha tenido lugar la diferenciación de las especies en la evolución. Midieron los índices de diversidad de las seroalbúminas de muchas especies de carnívoros y de primates, comparándolas entre sí. Estudiaron los índices de diversidad de especies que evolutivamente se diferenciaban en unos 30 millones de años, y concluyeron que en el caso de los primates, 30 millones de años equivalían a un índice de diversidad de 2,3. Partiendo de estos datos, Sarich y Wilson sugirieron que la independización de los homínidos dentro de los primates había tenido lugar hace unos 5 millones de años, basándose en un índice de diversidad de 1,17.

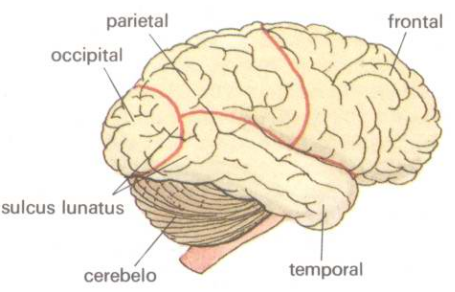
Testimonios convergentes El estudio de Sarich y Wilson, cuyas conclusiones sobre la evolución humana se publicaron a finales de los años sesenta, no estuvo exento de polémica, ya que parecía sugerir conclusiones aparentemente contradictorias con el esquema de sucesión evolutiva que estaba establecido. Principalmente sugería que el orangután no estaba en la misma línea evolutiva que los homínidos, sino que pertenecía a otra rama lateral con una evolución propia.

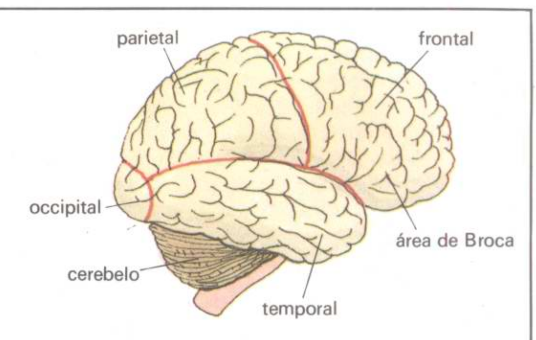
La separación de estas ramas habría tenido lugar hace aproximadamente 5 millones de años.

Sin embargo, estudios posteriores, en los que se han empleado técnicas de medición del índice de diversidad, dataciones de yacimientos con isótopos radiactivos, etc., parecen apuntar a una separación entre la línea de los póngidos (orangután, gorila, chimpancé) y la de los homínidos (*Australopithecus, Zinjanthropus*) en el Mioceno superior, hace unos 16 millones de años, de forma que el *Ramapithecus*, descrito por D. Pilbeam en 1980, parece encajar en la línea de los póngidos como un antecesor de los actuales.

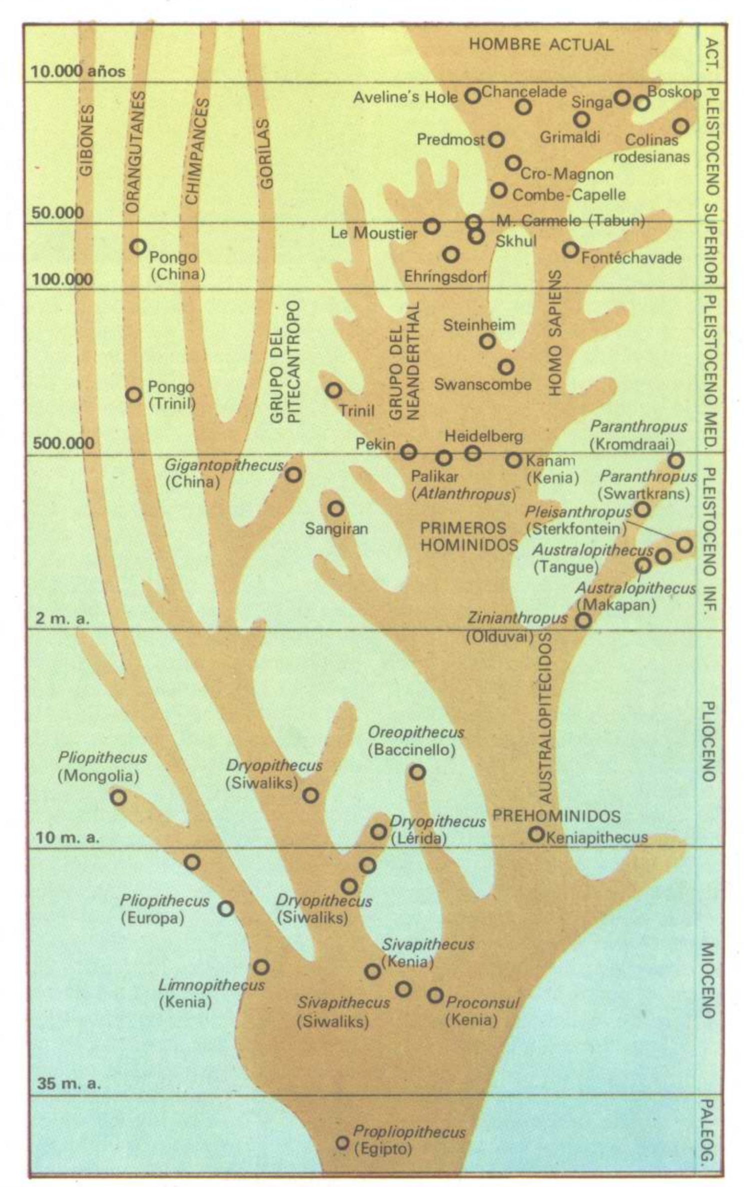
Véase **Antropología física; Evolución; Hombre**







Arriba, de izquierda a derecha, tres cerebros: de un saimiri ardilla, un chimpancé y un hombre moderno. Se observa claramente un aumento de la masa cerebral, junto a un mayor desarrollo de las circunvoluciones cerebrales, partiendo del escalón evolutivo más bajo (saimiri) para llegar al hombre, el escalón más alto. Los lóbulos también presentan diferencias: el lóbulo occipital se ha ido reduciendo progresivamente, mientras que el frontal ha aumentado considerablemente. En el esquema situado justamente debajo de estas líneas se reconstruye el árbol filogenético en el que se puede seguir la evolución, a partir de un solo tronco original, el *Propliopithecus*, de dos grupos distintos: a la izquierda, la rama de los monos, y a la derecha la de los prehomínidos (*Australopithecus*), a partir de los cuales puede haber surgido el hombre actual. Los restos fósiles, que se remontan a 35 millones de años atrás, y pruebas de otro tipo han reforzado la hipótesis de que el hombre comparte con los monos un antecesor común, aun cuando en la actualidad, debido a lo fragmentario de los datos disponibles, los científicos se ven obligados a reconocer que existen todavía algunas lagunas importantes en el esquema evolutivo de los homínidos.



Excavadora

Las excavadoras han llegado a tener una gran importancia en la industria de la construcción, ahorrando una gran cantidad de dinero, tiempo y mano de obra, y efectuando el trabajo de forma rápida y eficaz. Estas máquinas pueden excavar y remover toneladas de materiales en un día, sustituyendo así el trabajo de muchos hombres por el de pocos: los encargados del funcionamiento de las excavadoras. Cada máquina es manejada por un solo hombre mediante una serie de palancas dispuestas en la cabina. La mayoría de las excavadoras están montadas sobre orugas, exceptuando algunas más pequeñas, de funcionamiento hidráulico, que están montadas sobre neumáticos. Existen dos tipos fundamentales de excavadoras: las *de cables* y las *hidráulicas*.

Pariente de la grúa Las excavadoras de cables son estructualmente parecidas a las grúas y sólo difieren en el brazo, que ha sido modificado para poder sujetar el útil de la "cuchara". Existen tres tipos de excavadoras de cables, cuyo nombre define su función específica: de *"cuchara" niveladora*, de *"cuchara"* frontal y de *"cuchara" invertida* (para excavar zanjas).

La excavadora de "cuchara" niveladora es la más sencilla de las tres; se utiliza para remover material a nivel del suelo. El brazo está constituido por dos raíles situados uno paralelo al otro, sobre los cuales corre un carro de ruedas que lleva la "cuchara". Este carro excavador puede ser bajado, mediante los cables de maniobra del brazo, hasta la posición horizontal, paralela al suelo, para iniciar así su trabajo cerca de la base del brazo. El carro corre a lo largo de este brazo hasta alcanzar su extremidad libre, tirado por un cable de maniobra de la excavadora que se enrolla sobre el cabrestante accionado desde la cabina. Como consecuencia de este movimiento, la "cuchara" es arrastrada a lo largo del terreno y remueve con sus dientes el material de la superficie. Cuando la "cuchara" alcanza la extremidad del brazo, los cables la inclinan para permitir depositar su carga sobre los camiones (después que haya sido abierta la trampilla de descarga, situada en el fondo de la "cuchara" y también accionada por cables).

La excavadora de "cuchara" frontal se diferencia de la niveladora en que, en lugar de disponer de un solo brazo largo y rígido, tiene además un segundo brazo que lleva la "cuchara" y que está abisagrado a la mitad del primero. Para que actúe la "cuchara", se inclina el primer brazo con el mismo ángulo de la superficie que se debe excavar y luego se dispone el segundo de forma que la "cuchara" mire hacia adelante. Después, mediante los cables, se acciona la extremidad del brazo, de tal forma que la "cuchara" trabaje de abajo a arriba. Los dientes penetran con fuerza en el terreno, llenándose la "cuchara" de material mientras es levantada. Dicho material es posteriormente descargado en camiones de la misma forma que en el caso anterior.

La excavadora de "cuchara" invertida es parecida a la anterior: las únicas variaciones consisten en que la unión del brazo se encuentra en la extremidad del brazo portante y que la "cuchara" mira hacia el operador de la máquina en lugar de hacia el lado opuesto. La máquina se coloca al borde de la zanja que se debe excavar y se hace descender su brazo hasta que los dientes de la "cuchara" apoyen en la zona de terreno que debe ser removida. Entonces la "cuchara" es extendida hasta la posición más lejana del operador. Una vez que se encuentre en dicha posición, la "cuchara" es arrastrada hacia el operador por medio de un cable tirado por un cabrestante. Este movimiento permite a la "cuchara" excavar hacia abajo a un nivel inferior al que se encuentra la excavadora. El material removido es luego descargado mediante una trampilla situada en el fondo de la "cuchara".

Nuevos tipos Las excavadoras accionadas por cables han sido sustituidas por las modernas excavadoras hidráulicas. Estas máquinas son accionadas por motores de combustión interna, generalmente de ciclo Diesel, que suministran la potencia a un sistema de bombas hidráulicas de alta presión. La potencia de los cilindros, que son alimentados por un líquido hidráulico mantenido a alta presión, es el elemento más importante que utilizan las máquinas para mover tierras y para llevar a cabo sus funciones, consistentes en excavar hasta en los materiales más resistentes y moverse en las condiciones más adversas. Existen tres tipos de excavadoras hidráulicas: de "cuchara" invertida, de "cuchara" frontal y de pala cargadora frontal.

La excavadora hidráulica de "cuchara" invertida es parecida a la de cables utilizada para las zanjas, tanto en su aspecto como en su funcionamiento. La unión de la "cuchara" está situada en la extremidad de un brazo, que dispone de dos puntos de giro y que es levantado, extendido o encogido mediante un cilindro y un émbolo hidráulico. Su funcionamiento es parecido al del brazo humano. Si comparamos la mano a la "cuchara", podemos observar que su articulación en la extremidad del brazo (en la muñeca) es similar a la "cuchara" articulada en la extremidad del brazo mecánico. Los huesos del brazo, articulados entre sí en el codo, son similares a las dos secciones del brazo mecánico de la excavadora. Los movimientos hacia adelante y hacia atrás del brazo humano son controlados por los músculos que están unidos a los huesos, que a su vez entran en acción mediante estímulos nerviosos procedentes del cerebro. De la misma forma el operador de la excavadora acciona los émbolos y pistones hidráulicos conectados al brazo y a la "cuchara" mecánica de la excavadora, extendiéndolos o recogiéndolos a voluntad.



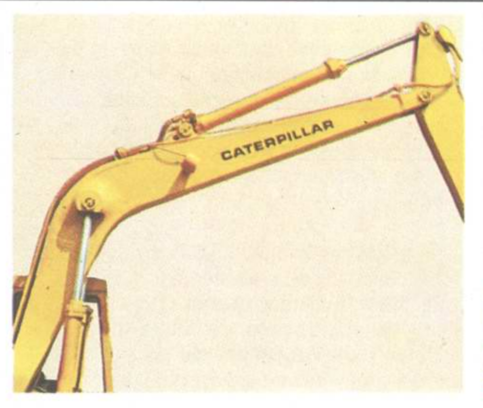
La excavadora de "cuchara" frontal es muy parecida a la excavadora de cables utilizada para zanjas y sólo se diferencia en dos aspectos principales: la "cuchara" está orientada en el lado opuesto del operador y el brazo está colocado delante de la máquina en lugar de detrás.

Muchas excavadoras de "cuchara" invertida están dotadas de una pala frontal. Este tipo de excavadora hidráulica lleva una gran pala articulada en la extremidad de dos brazos dispuestos uno en cada lado. Esta pala es capaz de remover grandes cargas a nivel del suelo, gracias a su mayor capacidad y al empleo de dos brazos cortos y robustos.

Rotación del brazo El brazo debe poder girar de una forma uniforme y rápida desde el lugar en donde la excavadora ha removido el material al lugar en el cual debe ser descargado el contenido de la "cuchara". Este movimiento se realiza a través de una plataforma giratoria que permite una rotación de la cabina de hasta 360 grados. En la mayoría de los casos, la plataforma giratoria puede efectuar su rotación tanto en sentido horario como antihorario. El movimiento de esta plataforma es producido por un motor colocado en la cabina, con todos sus mecanismos y acce-

sorios. Entre los numerosos accesorios disponibles para proporcionar mayor flexibilidad de uso a la máquina están las "cucharas" especialmente diseñadas para cargar materiales más o menos densos, los limpiadores de cunetas y cortadores de malezas; escarificadores para fragmentar capas rocosas o pavimientos; "cucharas" de mandíbulas para la excavación de pozos circulares o rectangulares; suplementos para alargar el brazo; imanes y pulpos de garfios para manejar chatarra, etcétera.

Véase **Edificios, construcción de; Grúas y aparatos elevadores**



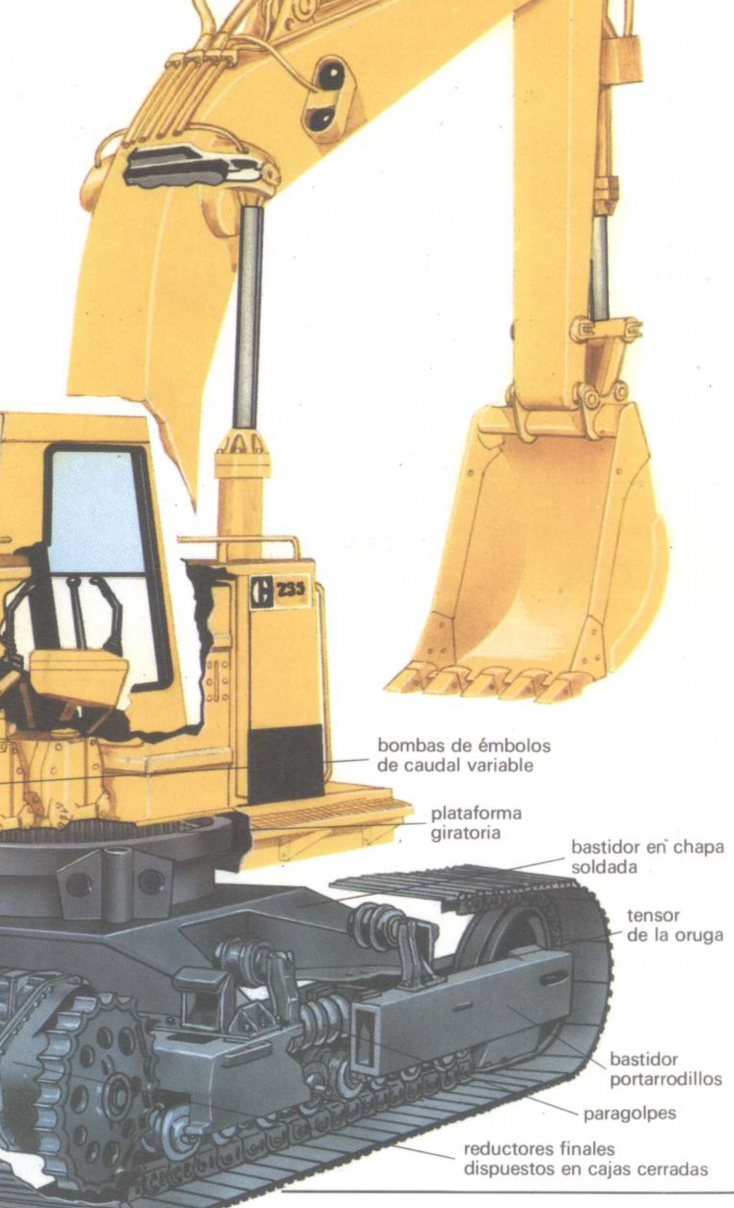


Arriba, a la izquierda, vemos el brazo de una excavadora, constituido por un solo cuerpo. Este tipo de brazo es el más indicado para las excavadoras que operan casi siempre con el brazo alejado al máximo y a grandes profundidades. A la derecha, un ejemplo de brazo de dos secciones. Esta estructura confiere a las excavadoras una mayor versatilidad. El brazo secundario puede ser colocado en distintas posiciones para variar la distancia de trabajo y la profundidad de la excavación.



En la página anterior, excavadora hidráulica, utilizada preferentemente en la construcción de carreteras y en la excavación de canales.

En esta página, arriba: interior de una cabina de mando; abajo: corte de una excavadora de oruga con brazo de dos secciones.



Explosivos

Ironías de la vida: Alfred Nobel, pacifista convencido cuyo nombre está unido al más prestigioso premio de la paz en el mundo, se hizo primeramente famoso como inventor de los modernos explosivos. En la segunda mitad del siglo XIX, Nobel obtuvo la primera patente relativa a la producción de la nitroglicerina, una sustancia explosiva muy sensible y peligrosa, cuyo empleo hizo algo más seguro combinándola con un material terroso y poroso, consiguiendo así la *dinamita*, menos peligrosa y más manejable que la nitroglicerina líquida. A Nobel se debe también la invención, en 1864, de un sistema de detonación que utilizaba el fulminato de mercurio como agente que iniciara la explosión. En 1875 creó la *dinamita goma* haciendo absorber la nitroglicerina en algodón nitrado. Por todos estos descubrimientos e invenciones se le considera fundador de la moderna época de los explosivos.



En los cien años posteriores, los explosivos han sido utilizados en innumerables sectores: como carga para proyectiles y otros fines militares, como propulsores para cohetes, y en obras civiles que requieren el empleo de minas para demoliciones.

Cuando una sustancia explosiva entra en ignición, se produce en ella una rápida descomposición que genera una gran cantidad de energía en forma de calor y una elevada presión de los gases formados en la reacción. Se habla de explosión cuando la combustión se propaga en el material por estratos o capas, a la velocidad relativamente baja de hasta 400 m por segundo, la cual puede controlarse. Esta reacción se denomina con frecuencia *deflagración*. En la detonación, por el contrario, la combustión es extremadamente rápida y produce una onda detonante en la sustancia explosiva. La velocidad de la detonación es característica de cada material explosivo, oscilando entre los 2.000 y 9.000 m por segundo.

Los explosivos que reaccionan por deflagración se denominan *explosivos lentos* o *propulsores*, y los que reaccionan mediante detonación se llaman *altos explosivos*.

Explosivos lentos Los explosivos lentos arden a poca velocidad y producen una presión menor que la originada en el caso de explosivos de alta potencia. Se utilizan para las cargas de proyección de armas de fuego y para impulsar cohetes o proyectiles; la velocidad de combustión y, por consiguiente, la presión desarrollada pueden ser controladas con el fin de obtener los efectos balísticos deseados. La pólvora negra, cuya invención se atribuye a los chinos en el siglo X, fue introducida en Occidente por los árabes y ha dominado en los campos de batalla durante cerca de 600 años. La pólvora negra está formada por un 75% de nitrato potásico, un 15% de carbón vegetal y un 10% de azufre.

Los átomos de carbono y los de azufre reaccionan con el oxígeno para dar, respectivamente, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso. Si esta reacción se efectúa en un espacio reducido como es el cañón de un fusil, la presión aumenta. En este caso, la pólvora negra, que arde superficialmente, determina la formación de un flujo continuo de gas que empuja violentamente el proyectil fuera del fusil. En un espacio abierto, en cambio, la pólvora negra arde simplemente sin que se produzcan presiones locales, por lo que la energía suministrada por la combustión se absorbe gradualmente por el ambiente circundante. La pólvora negra ha sido el explosivo base utilizado hasta finales del siglo XIX, en que fue sustituida por una pólvora que no producía humo, constitui-











ELECTRICO Y CEBO DE COMBUSTION LENTA

Existen diversos tipos de cápsulas detonantes, con una carga primaria que sirve de cebo y otra secundaria cuya explosión se produce por la explosión de la carga primaria y que amplifica el efecto destructivo. En el dibujo, dos tipos de cargas detonantes: moderna, arriba, con cebo eléctrico y carga primaria al fondo del orificio; abajo, una càrga más tradicional, con mecha lenta y carga primaria en cabeza.

En la secuencia de la página anterior vemos el desarrollo de una explosión para realizar un desmonte. Las cargas utilizadas son numerosas y pueden ser explosionadas simultáneamente o bien dejando entre una y otra explosión mínimos intervalos para mejorar el efecto de conjunto. En la fotografía más grande vemos el momento central de la acción rompedora: la nube de polvo y tierra provocada por la explosión es muy compacta y ello da idea de la precisa colocación de las cargas, cuya potencia explosiva se calcula de acuerdo con las exigencias del desmonte.

CLASIFICACION DE LOS EXPLOSIVOS

por su estado físico:	sólidos plásticos coloidales líquidos gaseosos
por su comportamiento:	incendiarios fulminantes detonantes propulsores rompedores
CLASIFICACION DE LOS EXPLOSIVOS PROPULSORES	para armas de fuego para cohetes para cargas de lanzamiento

da por un derivado de la nitrocelulosa, cuya acción se refuerza a veces añadiendo nitroglicerina. La pólvora negra se emplea todavía para las mechas de seguridad, formadas en general por un núcleo central de pólvora negra recubierto por una vaina de hilo de yute o cáñamo. Tales mechas se utilizan para activar los explosivos primarios o detonadores.

Altos explosivos Los altos explosivos arden con una velocidad miles de veces superior a la de los exposivos lentos y producen así rápidamente presiones tan elevadas que la explosión originada y la onda de choque que le acompaña se manifiestan instantáneamente. Cuando estos compuestos con energías tan elevadas (los más comunes son la trilita, el exógeno, la pentrita, la nitroglicerina y el nitrato amónico) se hacen explosionar por un detonador, arden en pocas millonésimas de segundo. Esta rápida explosión origina una onda de choque (onda de detonación) que transporta el calor y los gases generados por la explosión rápidamente en todas direcciones. La presión de la onda de choque es consecuencia de la densidad del explosivo, de la velocidad de la detonación y de la velocidad de las partículas de la onda de choque.

El gas en veloz expansión y el calor liberado tan rápidamente determinan una violenta variación de la temperatura, de la presión del aire y de la velocidad de las corrientes del ambiente circundante. La onda de choque transporta gran parte de la energía inicial de la explosión en forma de calor. A medida que avanza el frente de la onda, el aire en contacto con éste es desplazado hacia adelante y se hace más denso. En su estela se desarrolla un fuerte viento y la presión del aire desciende por debajo de la atmosférica. Esta es la fase de rebufo de la explosión, durante la cual el viento cambia de dirección, y es también la causa de que las ventanas se rompan cuando sufren el efecto de una explosión. Finalmente la onda de choque se dispersa en la atmósfera. La potencia de la onda es tanto mayor cuanto mayores son las dimensiones de la carga de explosivo. Esto significa que la explosión de dos cartuchos de dinamita causará una detonación dos veces más potente y se propagará dos veces más lejos que la producida por un solo cartucho.





En las dos fotografías de arriba vemos dos perspectivas de una instalación para la producción de nitroglicerina. La nitroglicerina se obtiene mediante la esterificación de la glicerina con ácido nítrico. A la izquierda pueden observarse el nitrador y el cuadro de control (del que se ve su interior en la foto de la derecha). Abajo, aquí al lado, una encartuchadora para explosivos plásticos.



Véase **Bomba y mina; Cargas de profundidad; Combustión; Fusil**

Fallas y pliegues

Observada desde la lejanía de los astronautas en órbita, la Tierra se muestra redonda, lisa y estable. Sin embargo, se trata en realidad de un planeta con una intensa dinámica interna, constituido por un núcleo de materiales calientes, recubiertos a su vez por una delgada corteza externa, muy sensible a los cambios que suceden en el interior. Según la teoría de la *tectónica de placas*, la corteza terrestre está dividida en grandes bloques que se mueven lentamente unos respecto a otros, dando origen en su interacción al levantamiento de cadenas montañosas, a la creación de grandes depresiones que son ocupadas por las aguas marinas, formando los océanos, y a muchas otras características de tipo topográfico. Los cambios de temperatura y de presión debajo de la corteza terrestre producen en ella dilataciones y contracciones y son, por lo tanto, responsables de las características superficiales del planeta, es decir, de su fisonomía actual.



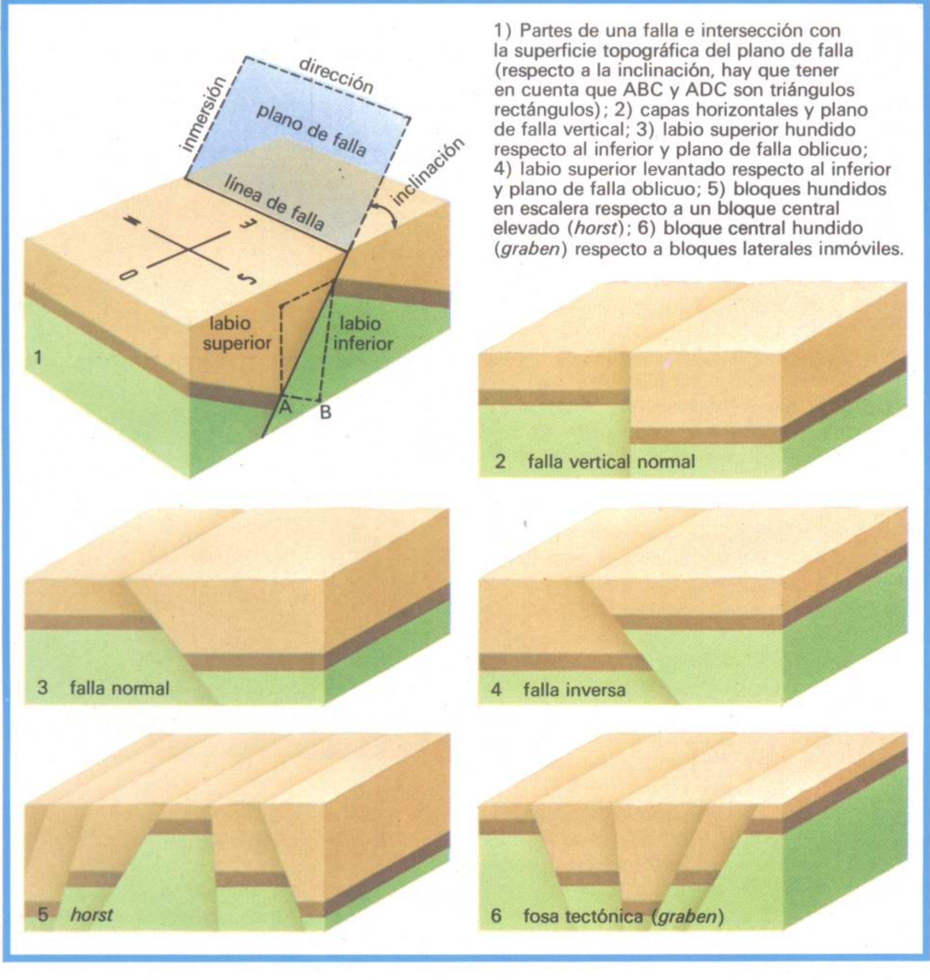


Fallas Una falla es una fractura de la corteza terrestre cuya longitud puede variar desde pocos centímetros hasta miles de kilómetros. Las fallas pueden tener varios orígenes. Su formación se debe a la acción de esfuerzos compresivos o bien distensivos en sentido horizontal, y, generalmente, se clasifican según la disposición del plano de la falla respecto a la superficie, así como a la orientación y sentido del movimiento o respecto a la traza de la falla.

Así, un esfuerzo compresivo horizontal puede originar una *falla de desgarre* de plano subvertical y componente principal de movimiento horizontal. Tal es el caso de la famosa *falla de San Andrés*, que discurre paralela a la costa de California y que durante el terremoto de 1906 experimentó un desplazamiento de 6 metros. También, en el ámbito de las cadenas montañosas, la compresión horizontal puede originar *fallas inversas* y *cabalgamientos* con plano progresivamente más tendido, movimiento perpendicular a la traza de la falla y sentido tal que un bloque se mueve montando sobre el otro. Tal es el caso de los Pirineos, que se han desplazado hacia el Sur según un plano de cabalgamiento subhorizontal.

La falla más común es la falla normal, a veces denominada también *falla de gravedad*, originada por un movimiento de expansión que produce el hundimiento de un bloque cortical. El Valle de la Muerte, en California, el punto más bajo del hemisferio occidental (86 metros bajo el nivel del mar), es el resultado de pequeños movimientos combinados de fallas de gravedad y de desgarre a lo largo de millones de años, durante los cuales la corteza terrestre se expandió, se fracturó y finalmente se hundió, mientras que las montañas circundantes se iban levantando. Las variaciones de altitud de esta zona indican que el fondo de este valle se ha hundido casi 7 centímetros durante el último siglo.

Pliegues La corteza terrestre es, en parte, el resultado de un proceso continuo de acumulación sedimentaria en cuencas marinas durante períodos de muchos millones de años, que ha dado lugar a depósitos estratificados de sustancias minerales. Si los esfuerzos compresivos provocados por la dinámica de placas actúan sobre estos depósitos estratificados, la deformación provocada en los mismos va a consistir en fracturas o en pliegues o en una combinación de ambos. El eje de un pliegue es una línea imaginaria que lo divide en dos partes, en lo posible simétricas, llamadas *flancos*, siendo paralelo a la dirección de las capas que lo forman.



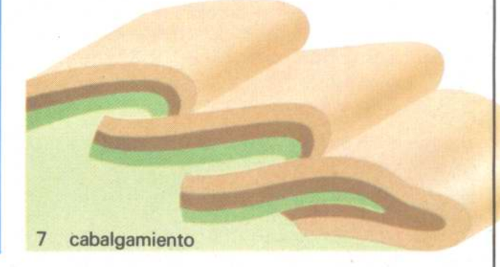
1) Partes de una falla e intersección con la superficie topográfica del plano de falla (respecto a la inclinación, hay que tener en cuenta que ABC y ADC son triángulos rectángulos); 2) capas horizontales y plano de falla vertical; 3) labio superior hundido respecto al inferior y plano de falla oblicuo; 4) labio superior levantado respecto al inferior y plano de falla oblicuo; 5) bloques hundidos en escalera respecto a un bloque central elevado (*horst*); 6) bloque central hundido (*graben*) respecto a bloques laterales inmóviles.

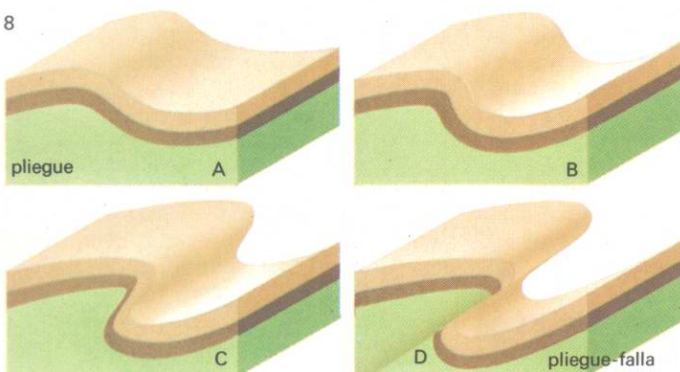
Por último, los pliegues pueden ser *simétricos* o *asimétricos*. En los pliegues simétricos el plano axial es vertical y los flancos forman ángulos semejantes con la horizontal; en los pliegues asimétricos, por el contrario, los flancos forman ángulos diferentes.

Las fallas y los pliegues son las estructuras que forman la arquitectura de la Tierra: las montañas, los valles y las cuencas marinas. El estudio de las fallas y de los pliegues es muy importante para el geólogo en la búsqueda de yacimientos petrolíferos. Igualmente, el estudio de los movimientos de las fallas permite conocer mejor el mecanismo de los terremotos, estando cada vez más cercano el día en que puedan predecirse.

Véase **Corteza terrestre; Tectónica; Terremoto**

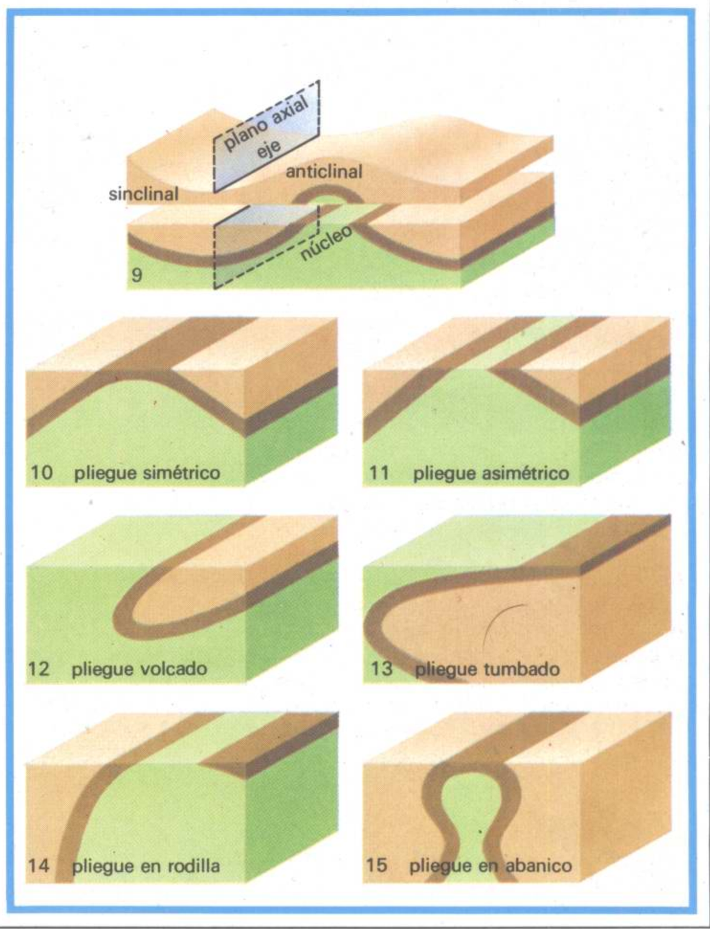
7) Cabalgamiento: el plegamiento puede culminar con el estiramiento y ruptura de uno de los flancos, con el consiguiente resbalamiento de la masa rocosa, a veces a grandes distancias. 8) Etapas en el paso de un pliegue a un pliegue-falla por efecto de los empujes orogénicos.





Los pliegues se clasifican en función del tipo de deformación interna que se produce en las capas durante el plegamiento, y, en términos de geometría, por la inclinación del plano axial o superficie que contiene las líneas de máxima curvatura del pliegue (*charnelas*). El *plegamiento concéntrico*, o paralelo, es el resultado de una compresión paralela a la capa, y no conlleva modificación alguna del espesor de la misma. Sin embargo, en el plegamiento llamado *similar* o *isoclinal* hay un aplastamiento de las capas, con adelgazamiento de los flancos y engrosamiento de las charnelas. En el primero de los tipos de plegamiento mencionados, no hay reajustes importantes de la materia dentro de la capa durante la deformación; en el segundo caso, los reajustes llegan a ser muy importantes.

Las masas rocosas se pliegan por los empujes tangenciales a la superficie terrestre. Los tipos de pliegues principales son (9): el *sinclinal*, cóncavo hacia arriba y el *anticlinal*, convexo hacia arriba. Las partes de un pliegue son: *núcleo* (parte interna); *charnela* (zona de máxima curvatura); *flancos* (partes que se unen en la chamela), y *plano axial*. A la derecha (10-15): pliegues con diversas inclinaciones de flancos y plano axial. En la página anterior: la falla de San Andrés, vista desde satélite; a su derecha, las placas.



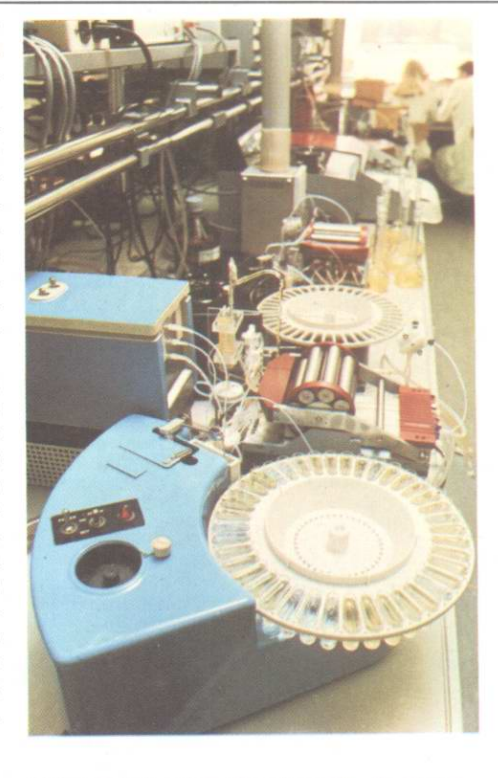
Farmacéuticos, productos

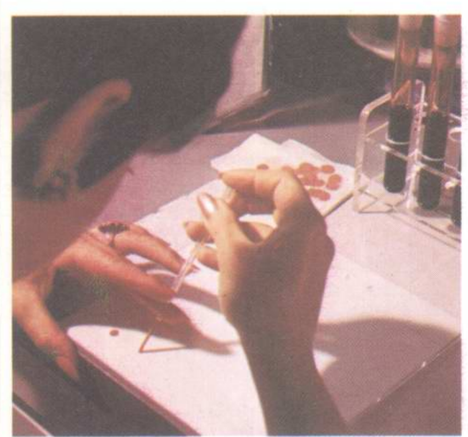
La preparación y utilización de los medicamentos constituyen uno de los más interesantes capítulos de la Historia. Los hechos se remontan a hace miles de años y están marcados por una misma finalidad: el intento llevado a cabo por el hombre para controlar la propia salud y ejercer una influencia positiva sobre su manera de vivir y de morir.

La ciencia médica y la curación de las enfermedades comienzan con el descubrimiento, realizado en tiempos antiguos, de que determinadas hierbas y ciertas hojas tienen un efecto beneficioso sobre el hombre. Este tipo de medicina popular se transmite aún en nuestros días de generación en generación en las tribus primitivas de Africa y de América Latina. Existen además puntos de unión directos entre la medicina primitiva y la que se efectúa en la mayor parte de los hospitales del mundo occidental. En el año 2735 a. de C. los antiguos chinos utilizaban un remedio contra la fiebre que ha mostrado ser beneficioso contra la malaria. Las hojas de *Digitalis purpurea* eran conocidas por su efecto beneficioso en los pacientes con hidropesía cientos de años antes de que se descubriera que tales hojas contienen digital, un medicamento ampliamente utilizado en nuestros días.

Algunos documentos testimonian que en la antigua Asiria, unos mil años antes del nacimiento de Cristo, se habían realizado ya ciertos intentos para dar forma a la Medicina. Se conservan tablas de piedra babilonias que portan inscripciones catalogando los fármacos aprobados oficialmente para el tratamiento de las enfermedades. Se trata de la primera farmacopea conocida: un inventario de todas las hierbas, los fármacos y los remedios aprobados contra las enfermedades. En nuestros días estos elementos regulan la industria farmacéutica en todos los países.

¿De dónde se obtenían los fármacos en la Antigüedad? En la mayor parte de los casos, de las hierbas y de las hojas recogidas en los bosques y tratadas de varios modos para hacerlas utilizables. Algunas se hervían y el líquido obtenido era destilado; otras eran secadas y reducidas a polvo, etc. No existían grados de pureza ni dosificaciones recomendadas, ni modo alguno de establecer estos criterios debido a que los médicos no sabían por qué o de qué manera actuaban los medicamentos. Este tipo de conocimientos no ha sido adquirido hasta tiempos recientes, en el transcurso de los últimos cien años.

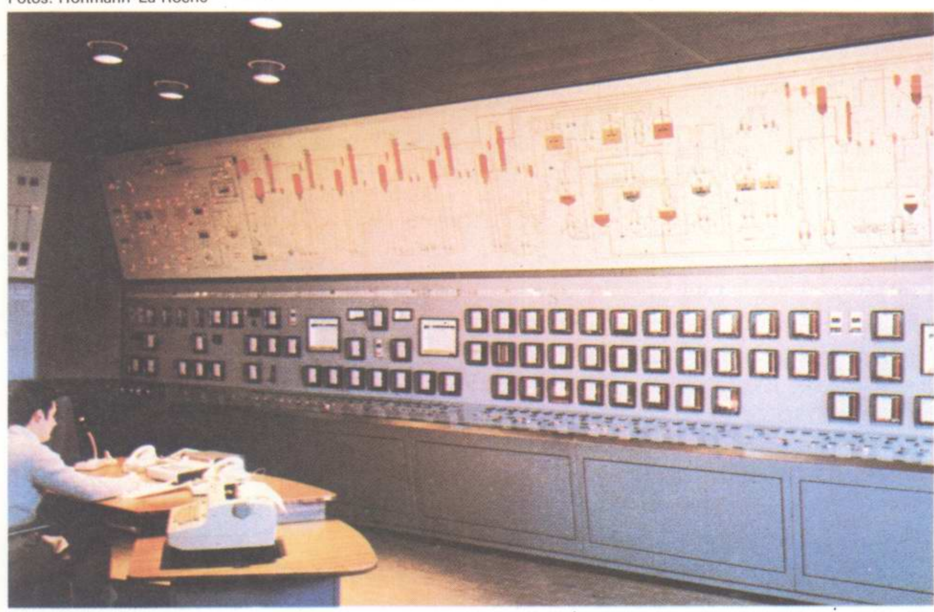




Fotos: Hoffmann-La Roche

De la medicina popular a la farmacia
En la Edad Media, el médico y el farmacéutico —esto es, el hombre que curaba la enfermedad y el que preparaba los medicamentos— eran con frecuencia la misma persona. La preparación de los fármacos formaba parte aún de la tradición oral y era transmitida de generación en generación, hasta que, en el año 1546, se publicó en la ciudad alemana de Nuremberg la primera farmacopea relativamente moderna, que cataloga todos los fármacos conocidos, así como las indicaciones necesarias para su preparación. Hasta aquel momento las plantas y los minerales constituían las principales fuentes a las que había que recurrir para preparar los medicamentos. Estos eran entonces administrados sin gran conocimiento de su mecanismo de acción, sabiendo solamente que originaban un cierto efecto. Sin embargo, hacia los últimos años del siglo XVIII, la investigación médica empezó a descubrir las causas de las enfermedades, y la Química, en pleno desarrollo, comenzó a aportar su contribución a la Medicina. A principios de siglo XIX se llevaron a cabo en ambas ciencias descubrimientos tales que permitieron a los médicos mantener bajo control algunas enfermedades tan temibles como el cólera y la sífilis.

¿Cómo se preparan los fármacos en nuestros días? En algunos casos los métodos utilizados son esencialmente los mismos que se usaron en otros tiempos, si bien algo más refinados. Los destilados,



La Farmacología y la Toxicología clínicas investigan y determinan la idoneidad de una sustancia para ser utilizada terapéuticamente. La producción industrial debe responder a criterios no menos rígidos que la experimentación. Por esta razón se tiende a automatizar cada vez más las instalaciones (envasado, llenado de frascos, producción de comprimidos y supositorios, empaquetado automático, etc.), con el fin de evitar hasta las más remotas posibilidades de contaminación.

Las materias primas, los productos semielaborados y los productos terminados están siempre sujetos a controles de actividad, toxicidad y presencia de sustancias extrañas. Con este propósito existen laboratorios de control. Cada lote o partida es controlado con la máxima atención antes de su confección y comercialización. Las muestras son conservadas al menos durante cinco años. En las diversas fotografías de esta página podemos observar varios momentos de los controles.

FASES DE LA PRODUCCION DE UN NUEVO FARMACO

Fase	Número de sustancias	Duración	Etapa	Descripción
Objetivos de la investigación y descubrimiento de la sustancia activa	Número de las sustancias potencialmente activas: 8.000-10.000	Duración: aproximadamente 1-2 años	FIN DE LA INVESTIGACION	Planificación de la investigación. Objetivo médico. Objetivo comercial. Planificación de la estructura química. Investigación bibliográfica. Investigación de patentes. Selección de estructura. Planificación de la síntesis
			SINTESIS DE LAS SUSTANCIAS ACTIVAS	Síntesis de laboratorio de sustancias activas. Determinación de los modelos animales
Pruebas pre-clínicas	Sust. restantes aprox. 20-30	Duración: aproximadamente 2-3 años	*Screening*	Selección farmacológica y bioquímica de base. Investigación de patentes
	Sust. restantes aprox. 18		Pruebas pre-clínicas I	Toxicidad aguda = simple administración a dos especies animales. Estudios farmacológicos detallados (efectos primarios, efectos colaterales, duración del efecto, etc.). Análisis de la sustancia activa. Estabilidad de la sustancia activa
	Sust. restantes aprox. 12		Pruebas pre-clínicas II	Farmacocinética = absorción, distribución, matabolismo y excreción. Toxicidad subcrónica = administración repetida (a medio plazo) a dos especies animales. Estudios toxicológicos de reproducción: fertilidad, teratogenicidad, toxicidad peri y postnatal. *Test* de mutagenicidad. Síntesis de sustancias activas a escala técnica. Desarrollo de la forma de dosificación final. Estabilidad de la forma de dosificación final. Producción de muestras clínicas
Pruebas clínicas	Sust. restantes aprox. 4-5	Duración: aproximadamente 3-4 años	Pruebas clínicas I	Pruebas clínicas, fase I: Tolerancia en voluntarios sanos: – Dosis altamente tolerada – Dosis mínima efectiva – Relación dosis-efecto – Duración del efecto – Efectos colaterales Farmacocinética en el hombre. Toxicidad subcrónica (otras especies animales). Farmacología animal suplementaria
	Sust. restantes aprox. 2-3		Pruebas clínicas II	Pruebas clínicas, fase II: Primeras pruebas controladas sobre la eficacia en el paciente. Toxicidad crónica = administración repetida (a largo plazo). Pruebas de cancerogénesis. Farmacología animal suplementaria
	Sust. restantes 1		Pruebas clínicas III	Pruebas clínicas, fase III: Pruebas terapéuticas a gran escala en distintos centros de investigación para la definición final del perfil terapéutico: – Indicaciones – Dosis y vías de administración – Contraindicaciones – Efectos colaterales – Medidas de precaución Pruebas de eficacia y seguridad en la administración a largo plazo. Demostración de ventajas terapéuticas. Clarificación de cualquier interacción con fármacos concomitantes
Registro comercial y venta	Sustancias restantes 1	Duración: aproximadamente 2-3 años	Registro sujeto a la autoridad sanitaria	Documentación de todos los datos relevantes para los requerimientos del registro: – Juicio de los expertos sobre las pruebas técnicas – Juicio de los expertos sobre las pruebas farmacológicas – Juicio de los expertos sobre las pruebas analítico-farmacéuticas Preparación para el lanzamiento. Plan de *marketing* (distribución). Adiestramiento de los agentes de venta Información para: – médicos – mayoristas – farmacéuticos Preparación de los materiales para la confección, envío de muestras y productos de presentación
			Lanzamiento y venta	Formación y confección de la dosis final. Control de la calidad de la producción

por ejemplo, se obtienen en la mayor parte de los casos mediante destilación a vapor. Un estracto en polvo se mezcla con agua que facilita la volatilización (la transformación en gas) del fármaco y ayuda a prevenir la descomposición si se somete a un calor excesivo. La mezcla se coloca entonces en un recipiente y se hace pasar a través del vapor. El destilado se condensa bajo forma de una capa de agua y aceites volátiles, que pueden ser fácilmente separados dado que el aceite forma una capa separada del agua. Este es el método que se aplica para la obtención del alcanfor, de la menta piperita y de los aceites de abedul.

Un método análogo se utiliza para la extracción del aceite de hígado de bacalo, que es una importante fuente de vitaminas A y D. El hígado del bacalao se mantiene en agua, a continuación se calienta hasta el vapor: entonces los tejidos del hígado se desintegran, permaneciendo el aceite en la superficie, de donde es recogido. Este método también se emplea para muchos otros tipos de aceites.

Algunos fármacos se obtienen de animales y vegetales a través de procedimientos químicos, incluidas la precipitación y la extracción mediante disolventes.

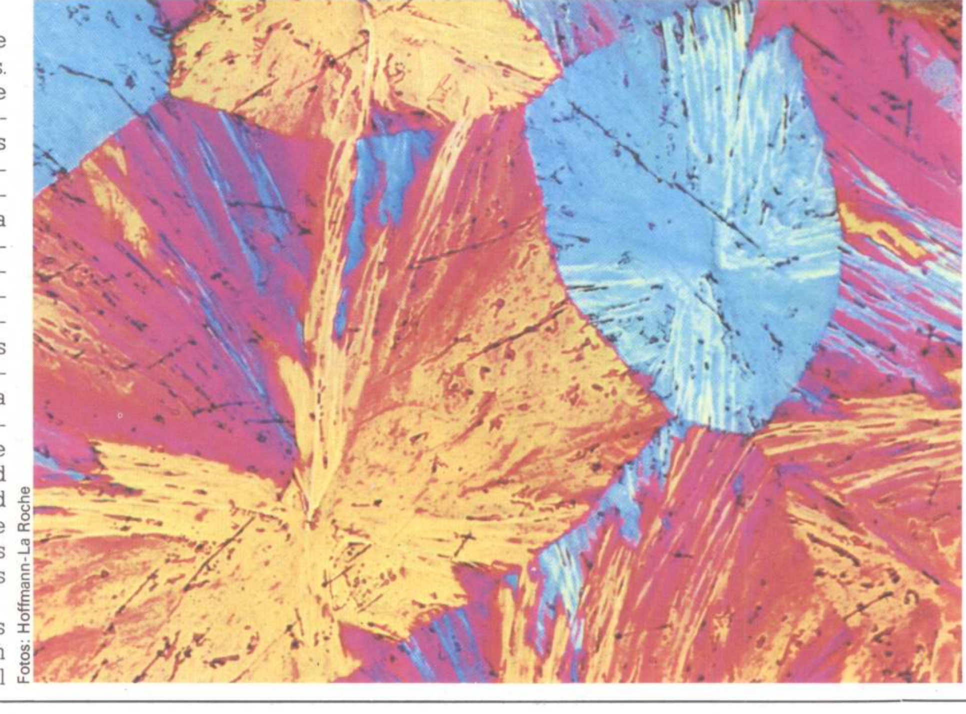
"Fármacos milagrosos" La insulina, un producto obtenido de los tejidos animales (en este caso, del páncreas), es el medicamento utilizado para el tratamiento de los diabéticos. Se trata de un fármaco con especiales problemas de producción, ya que la insulina es una sustancia muy delicada que es destruida con mucha facilidad por los enzimas. Por este motivo, el páncreas que debe ser utilizado se congela inmediatamente; después, los tejidos, finamente triturados, son disueltos en alcohol frío acidificado. A partir de esta solución se obtiene finalmente la insulina a través de una serie de complejos procesos de filtración y centrifugación.

En la producción de los antibióticos se plantean también numerosos problemas. Muchos de estos fármacos derivan de fuentes naturales, de modo que inicialmente se cultivaban ciertos hongos de los que posteriormente se obtenía el antibiótico. Sin embargo, este sistema ha mostrado ser demasiado lento y, al requerir una gran utilización de mano de obra, da lugar a un producto extremadamente costoso. Los procesos naturales han sido finalmente acelerados gracias a una extraordinaria gama de instrumentos construidos por el hombre que le han permitido la realización de complejos procesos, como la evaporación del cultivo (los hongos crecen bajo el agua con un flujo continuo de aire), la congelación y una gran variedad de técnicas de filtración. En la actualidad muchos antibióticos son completamente sintetizados en el laboratorio y algunos pueden fabricarse modificando ciertas sustancias naturales.

Hoy en día la producción de sustancias útiles en terapéutica ha experimentado un proceso verdaderamente excepcional

En la industria farmacéutica, la investigación química es siempre complicada, y con mucha frecuencia, interdisciplinaria. Utiliza el trabajo en equipo y las estructuras tecnológicas más modernas. El proceso que da lugar a la síntesis de una nueva sustancia farmacológica suele ser bastante largo (a veces requiere varios años) y puede dar lugar finalmente a la producción de sustancias que tal vez serán completamente diferentes de las que inicialmente se consideraron, aunque por lo general serán terapéuticamente interesantes. Un buen laboratorio de investigación debe estar dotado de una extensa biblioteca (con búsqueda computerizada de datos de manera que sea posible el inmediato hallazgo de la literatura farmacológica concerniente a la investigación que se pretende desarrollar), así como de los laboratorios en los que sean posibles todos los tipos de experimentación a nivel molecular, para evaluar la eficacia del producto y asegurarse de su absoluta inocuidad. Cada sustancia nueva es experimentada en animales con el fin de establecer tanto su actividad como su posible toxicidad, después de que su estructura y pureza han sido definidas y controladas. Por esta razón los laboratorios de las industrias farmacéuticas poseen instalaciones adecuadas para los animales de experimentación, salas de operación estériles para animales en las que se realizan todos los controles indispensables para evaluar objetivamente el efecto de un fármaco (acción analgésica, acciones sobre el aparato cardiovascular, respiratorio, gastrointestinal, nervioso, endocrino, etc.). Las fases de la investigación toxicofarmacológica son extremadamente complejas y conllevan también el estudio microscópico de eventuales alteraciones fetales provocadas por el fármaco. En las fotografías se indican algunas fases de una investigación farmacológica: bajo estas líneas, control de datos y cristales de aspirina. En la página siguiente: examen, confección y producto final.





Fotos: Hoffmann-La Roche

con la introducción de métodos propios de la ingeniería genética. De esta manera, utilizando la acción de los gases de bacterias como la *Escherichia coli*, se ha podido empezar a obtener cantidades relevantes de algunas sustancias (por ejemplo, de insulina, hormona humana del crecimiento) con costos que progresivamente tenderán a disminuir.

Administración de los fármacos Existen, como es lógico, diferentes formas de administración de los fármacos. La insulina constituye un buen ejemplo de uno de los modos más eficaces: la inyección. Para que esta sea posible, el fármaco debe encontrarse disuelto en un líquido —por ejemplo, agua, alcohol o aceite— y ser absolutamente puro, dado que toda inyección se introduce directamente en el flujo sanguíneo.

El modo más habitual de administración de medicamentos lo constituye la vía oral. En otro tiempo las píldoras eran pequeñas bolas redondas y era el farmacéutico quien se encargaba de la confección de sus propias píldoras en su farmacia, preparando la dosis más adecuada y sirviéndose de los fármacos que tenía a su alcance. En nuestros días, los comprimidos son fabricados industrialmente, lo que permite una producción a gran escala. El medicamento es mezclado con dextrina, lactosa, almidón o cualquier otra sustancia que tiene como misión darle una cierta dimensión y permitirle liberarse en el organismo. Suele añadirse un lubrificante para impedir su adhesión; posteriormente es granulado de manera que se deslice libremente; finalmente se introduce en la máquina en la dosis más adecuada. Los comprimidos se forman en un molde en el que se prensa el preparado. Algunas veces se envuelve con una cubierta que puede ser de azúcar, para hacerlo más agradable, o bien de una sustancia que controle el tiempo necesario para su liberación orgánica (tiempo de liberación), o bien de otra sustancia para prevenir el deterioro que puede tener lugar en el contenedor. Los fármacos pueden también ser producidos en forma de polvo o en forma líquida en el interior de una cáscara de gelatina y puestos a la venta en forma de cápsulas. Una vez ingerida, la cápsula se disuelve y libera inmediatamente el fármaco, que



queda en disposición de ser absorbido. Otros medicamentos son administrados directamente en forma líquida, como los productos disueltos o suspendidos en agua, alcohol o jarabes.

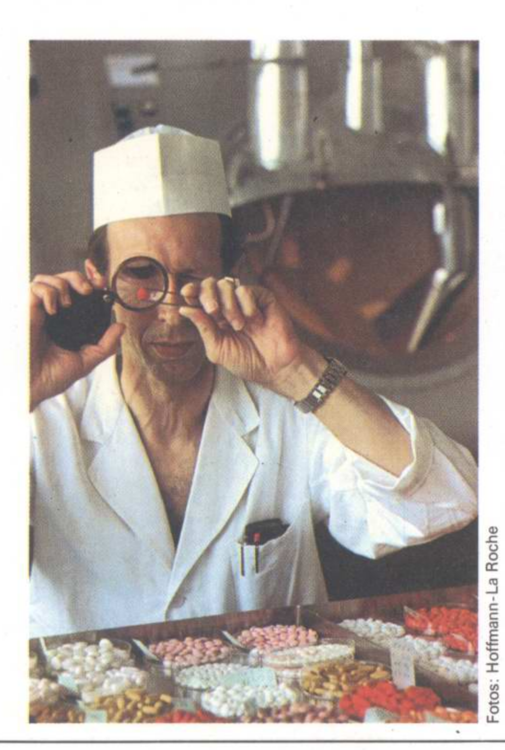
Una de las más modernas formas de administración de ciertos tipos de fármacos es el aerosol, suspensión de partículas líquidas o finamente pulverizadas mezcladas con un gas. Cuando se oprime el pulsador del vaporizador, el fármaco es vaporizado y expulsado como un aerosol a través de la válvula, de modo que el paciente lo pueda aspirar. Este sistema es muy útil en enfermedades como el asma, dado que el fármaco llega a los pulmones de una manera mucho más rápida. El aerosol es fácil de utilizar y ha sustituido en gran parte a los *sprays* o a los métodos de vapor utilizados para llevar a cabo inhalaciones, con la excepción del *spray* nasal que debe ser introducido en las fosas nasales.

Los comprimidos tienen con frecuencia formas y colores distintos para ayudar al farmacéutico a identificarlos según las distintas categorías. Las cápsulas también están coloreadas de diferentes modos por la misma razón. Las pastillas o comprimidos destinados a disolverse en la boca están compuestos por aceites como la menta piperita, con objeto de darles un sabor agradable. Los supositorios deben ser sólidos a la temperatura ambiente, pero deben fundirse a la temperatura corporal, por lo tanto se fabrican con sustancias como el teobromato que, una vez introducidas en el recto, se disuelven.

La esterilización es un proceso de vital importancia en la producción de todos los fármacos y se efectúa de varias maneras. El método más habitual es la esterilización mediante vapor en un espacio cerrado. Algunos fármacos, sin embargo, no pueden soportar el vapor y deben ser esterilizados con un gas como el óxido de etileno, con calor seco o bien mediante radiaciones. Este último método se utiliza generalmente para esterilizar instrumentación médica o productos farmacéuticos, y conlleva la exposición a los rayos ultravioleta o a los rayos gamma.

Actualmente la industria farmacéutica ha llegado a alcanzar elevados niveles de producción en todo el mundo. Constituye uno de los subsectores más dinámicos de la industria química, estando sometida a una fuerte reglamentación en todos los países.

Véase **Antibióticos; Destilación; Farmacología**



Fotos: Hoffmann-La Roche



Farmacología

La Farmacología es una de las ciencias básicas de la Medicina. No obstante, no se ocupa directamente del cuerpo humano y de sus enfermedades, cosa que hace la Medicina, sino de los medicamentos y otras sustancias utilizadas por los médicos para aliviarlas o curarlas.

Desde un punto de vista histórico, la Farmacología comprende el conjunto de todos los esfuerzos humanos para controlar la salud, incluidas las fuentes de los medicamentos utilizados, el modo de preparación y de administración y el efecto que producen en los pacientes. Desde un punto de vista médico, se ocupa de la preparación y de la administración de todos los medicamentos utilizados en el tratamiento de las enfermedades y del control de su distribución; establece también las normas de pureza y las cualidades del producto y, tras haber realizado las investigaciones pertinentes, permite que los nuevos medicamentos sean distribuidos a los médicos, hospitales y farmacias. Una ciencia bastante similar y que a menudo se confunde con la Farmacología es la Farmacia, que se ocupa de los aspectos prácticos de la preparación de los medicamentos y de la distribución de los mismos a los médicos y a la población en gran escala.

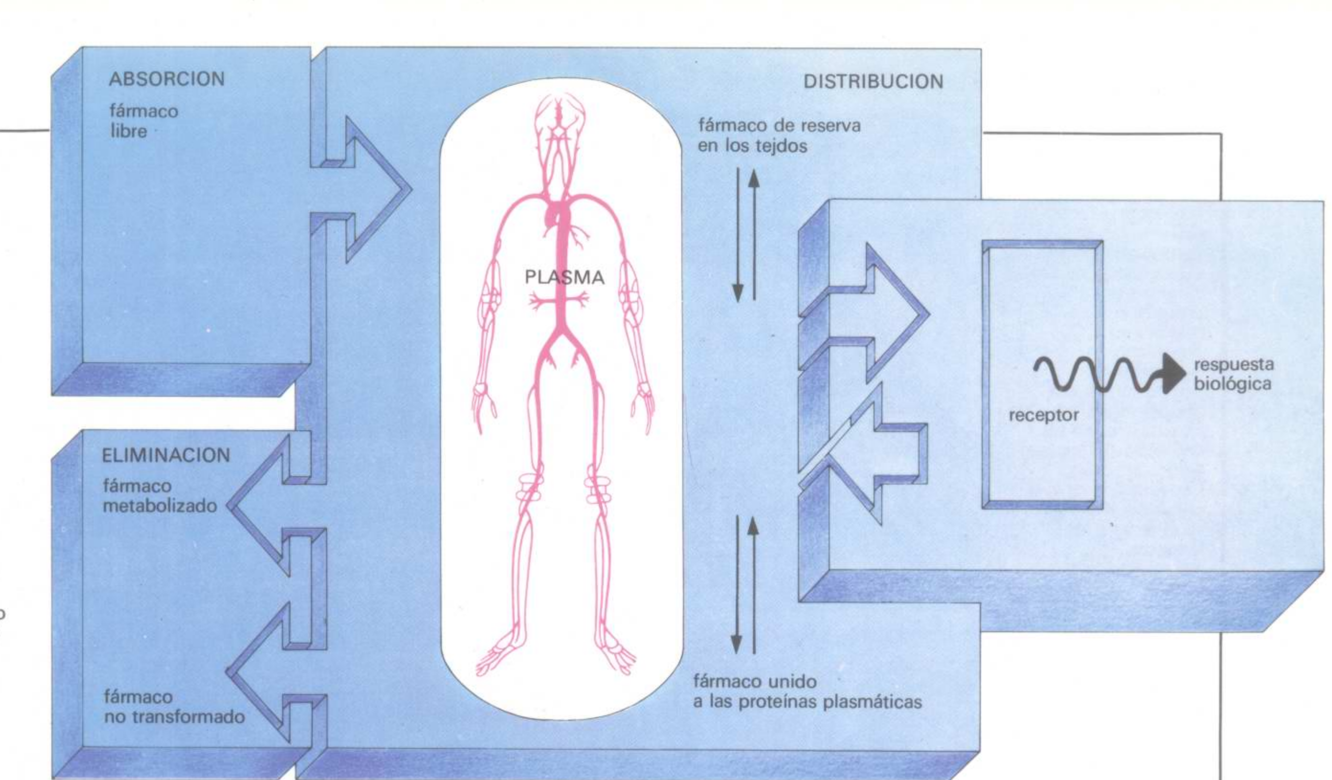


La Farmacología es una ciencia muy antigua, cuyos orígenes se remontan al momento en el que el hombre descubrió la existencia de sustancias de origen mineral, vegetal o animal cuya administración producía efectos beneficiosos. Sobre estas líneas se ve una antigua botica de alquimista; a la izquierda, un moderno laboratorio de Farmacología.

Las ramas de la Farmacología El campo de interés de la Farmacología abarca prácticamente todas las áreas de la Medicina. Una rama denominada *Farmacognosia* se ocupa del origen de los fármacos: las plantas, los minerales y los animales de los que proceden los medicamentos. La *Farmacocinética* constituye el estudio de los efectos que los medicamentos tienen sobre los tejidos vivos: los cambios de las funciones biológicas originados por los fármacos, cómo son absorbidos por los tejidos vivos, cómo se distribuyen y cómo se transforman químicamente en el orga-



En todo fármaco es fundamental determinar la diferencia entre la dosis terapéutica y la dosis tóxica. Para este fin es indispensable la experimentación en animales de laboratorio. Arriba, vista parcial de un estabulario; a la izquierda, registro de la presión arterial y de la respiración de un conejo.



Una rama de la Farmacología es la Farmacocinética, que se ocupa de estudiar cómo son absorbidos los fármacos por los tejidos vivientes, cómo se distribuyen y cómo son transformados y eliminados. A la derecha, esquema de las principales etapas del movimiento de los fármacos en el organismo humano.

nismo y son eliminados. La *Toxicología*, el estudio de los tóxicos o venenos, es otra rama de la Farmacología que utiliza los conocimientos farmacológicos para el tratamiento de las enfermedades. La *Quimioterapia* es una rama especializada que se ocupa de la utilización de los medicamentos en las enfermedades causadas por bacterias, virus y otros parásitos y en el cáncer.

La historia de la Farmacología La Farmacología como profesión o estudio es tan vieja como la propia Medicina. Su origen se remonta a la primera persona que descubrió que una determinada hierba poseía un efecto beneficioso, calmante o curativo. Se desarrolló de generación en generación mediante la transmisión de los conocimientos de las sustancias dotadas de cualidades terapéuticas; este tipo de conocimiento permanece vivo aún hoy día entre los que practican la denominada *medicina popular:* curanderos, hechiceros y chamanes de las tribus primitivas. Como ciencia propiamente dicha, la Farmacología es, sin embargo, relativamente joven. Hasta mediados del siglo XIX nadie intentó reunir este conjunto de conocimientos, definir sus distintas ramas y establecer una relación con la Medicina. Fue el alemán Oswald Schiedeberg el primero que reunió los distintos aspectos del estudio de los medicamentos y el primero que estableció una relación entre éstos y la ciencia médica.

La Farmacología de nuestros días A lo largo de toda la historia de la Medicina, los medicamentos han sido obtenidos de las plantas, de los minerales o de los animales, que siguen siendo aún en la actualidad una importante fuente de fármacos. En los últimos cien años se han añadido los productos originados por los microorganismos, como la penicilina, y, lo que es aún más importante, los productos obtenidos en los laboratorios químicos. La mayoría de las 25.000 variedades de medicamentos en uso se produce actualmente mediante la síntesis química, que no solamente ha hecho posible una más rápida fabricación de los medicamentos, sino que además permite disponer de ellos en cantidades prácticamente ilimitadas.

La Farmacología es, por otro lado, una ciencia muy rigurosa. Antes de poder prescribir un medicamento a un paciente, el médico debe conocer la cantidad que puede administrar sin riesgos (es decir, debe conocer la dosificación), los efectos específicos del fármaco, los efectos colaterales que puede conllevar y si el paciente será capaz de soportarlo. Por ejemplo, en los años cincuenta se descubrió que un tranquilizante, llamado *talidomida*, utilizado comúnmente para los trastornos nerviosos en embarazadas, tenía efectos colaterales gravísimos en los hijos de estas mujeres, los cuales nacían sin brazos o piernas, gravemente retrasados o con otras anomalías. Este caso es una clara demostración de la profundidad con que deben llevarse a cabo las investigaciones sobre los nuevos medicamentos; pueden ser necesarios años de experimentación antes de que un nuevo descubrimiento médico pueda ser efectivamente introducido en el mercado y utilizado con fines terapéuticos.

No menos importante que los efectos colaterales y la toxicidad de un medicamento es el control de la calidad de cada fármaco producido. Para asegurar la pureza, deben realizarse rígidos controles en todas las fases de la fabricación, que se extiendan incluso al pegamento utilizado para etiquetar el producto terminado y al tipo de ampolla, frasco o estuche en el que es envasado.

En los Estados Unidos la calidad y la pureza de los medicamentos está controlada por la Food and Drug Administration (FDA, Administración de los Fármacos y Alimentos). Esta institución tiene una gran responsabilidad, ya que debe emitir un juicio sobre la composición de un producto, sobre su seguridad, su eficacia, las modalidades de producción, los controles necesarios durante la fabricación, la plenitud de informaciones sobre su confección, e incluso sobre el texto de la etiqueta.

Después de la tragedia provocada por la talidomida, los reglamentos de la FDA se hicieron más estrictos, de manera que hoy en día contemplan también las experimentaciones sobre nuevos productos, especifican los investigadores que deben efectuar las pruebas y se ocupan también de las condiciones en las que estas deben llevarse a cabo. Los reglamentos especifican también que todos los medicamentos que se presentan deben poseer realmente el efecto que afirman tener, y requieren una prueba de su efectividad en forma de una documentación que refiera no sólo el lugar en el que los experimentos han sido efectuados, sino también los nombres de los que han participado en la investigación.

En España el organismo encargado del control de los medicamentos es la Dirección General de Farmacia y Medicamentos, perteneciente al Ministerio de Sanidad y Consumo.

También los nombres de los fármacos están sometidos a estrictas reglas. Cada medicamento debe tener tres nombres: un nombre basado en su composición química, que está sujeto a una serie de reglas internacionales de manera que en cualquier parte los médicos puedan identificarlo; un nombre genérico que identifica el fármaco en términos más generales en el ámbito de la literatura científica; y, finalmente, un nombre comercial que lo identifica de cara al público. Por ejemplo, un antidepresivo de amplia difusión es conocido por el público con el nombre de *Tryptizol*[R], mientras que su nombre genérico es el de *amitriptilina*, que indica a los

Junto a estas líneas se esquematizan las complejas interacciones entre los procesos de absorción, distribución, utilización y eliminación de los fármacos en el organismo. Una misión muy importante de la investigación farmacológica es el estudio de los efectos perjudiciales de los fármacos. Un aspecto particular de esta investigación es el que considera los efectos en el feto de los fármacos administrados a la madre. Abajo, esquema de la distribución de un fármaco en la unidad materno-fetal. Las flechas a trazos indican las etapas que aún están en estudio.

Tejidos en los que los fármacos desarrollan su acción
ligados
libres
Tejidos en los que existen fármacos en reserva
libres
ligados
circulación
fármacos libres
absorción
eliminación
fármacos transformados
fármacos unidos a las proteínas
Transformación de los fármacos, principalmente en el hígado

médicos que pertenece al grupo de los fármacos antidepresivos tricíclicos.

La dosis, o cantidad de cada medicamento que debe ser administrada, constituye un tema de la máxima importancia. No existen pruebas que permitan establecer la cantidad de cada medicamento que debería ser administrada de modo que fuera eficaz y al mismo tiempo absolutamente inocua; hay demasiada variabilidad entre los seres humanos. En la práctica, se utiliza un sistema que identifica la dosis tóxica media de un fármaco en relación a su dosis terapéutica media, es decir, como regla general, la dosis tóxica de un fármaco debería ser al menos quince veces superior a la dosis terapéutica. Esto se expresaría con un "índice terapéutico" de 15. La dosis tóxica puede ser establecida mediante la utilización de animales de laboratorio. Sin embargo, esto supone un criterio muy general y una forma de advertencia contra la autoprescripción: sólo el médico puede establecer la cantidad de un medicamento determinado que precisa un paciente y el tiempo que debe durar la administración.

Otro aspecto fundamental que debe considerarse es el de la vía de eliminación de los fármacos por el organismo, de-

lugar de acción
cerebro materno
otros tejidos maternos
lugar de acción (receptores)
cerebro fetal
otros tejidos fetales
plasma
fármaco libre
fármaco administrado a la madre
intramuscular o intravenosa
oral
biotransformación
hígado materno
metabolitos
venas umbilicales
arterias umbilicales
biotransformación placentaria
placenta
hígado fetal
biotransformación
plasma
fármaco libre
metabolitos
líquido amniótico
eliminación

bido a las implicaciones terapéuticas que de ello pueden derivarse. Un quimioterápico o un antibiótico que se elimina inalterado a través del riñón o de las vías biliares, por ejemplo, sería muy útil para tratar infecciones localizadas en las citadas zonas del organismo.

La vía de eliminación debe tenerse en consideración también en lo que respecta a los eventuales daños que el fármaco puede producir en el órgano que lo elimina, lo cual puede constituir incluso una contraindicación.

La Farmacología especifica también el modo en que un medicamento debe ser administrado al paciente. En la mayoría de los casos los fármacos son ingeridos por vía oral y absorbidos a través del sistema digestivo. Algunos fármacos no pueden ser absorbidos por vía digestiva (como es el caso, por ejemplo, de la insulina) porque son destruidos por los jugos digestivos y, por lo tanto, deben ser administrados a través de una inyección intramuscular o subcutánea, es decir, mediante una inyección en un músculo o simplemente debajo de la piel. El método de administración más rápido es la inyección intravenosa, directamente en la circulación sanguínea. Los medicamentos pueden ser también inhalados en forma gaseosa, en cuyo caso son absorbidos a nivel pulmonar, o aplicados en forma de cremas, ungüentos, pomadas o lociones sobre la piel, o bien en los oídos o en los ojos.

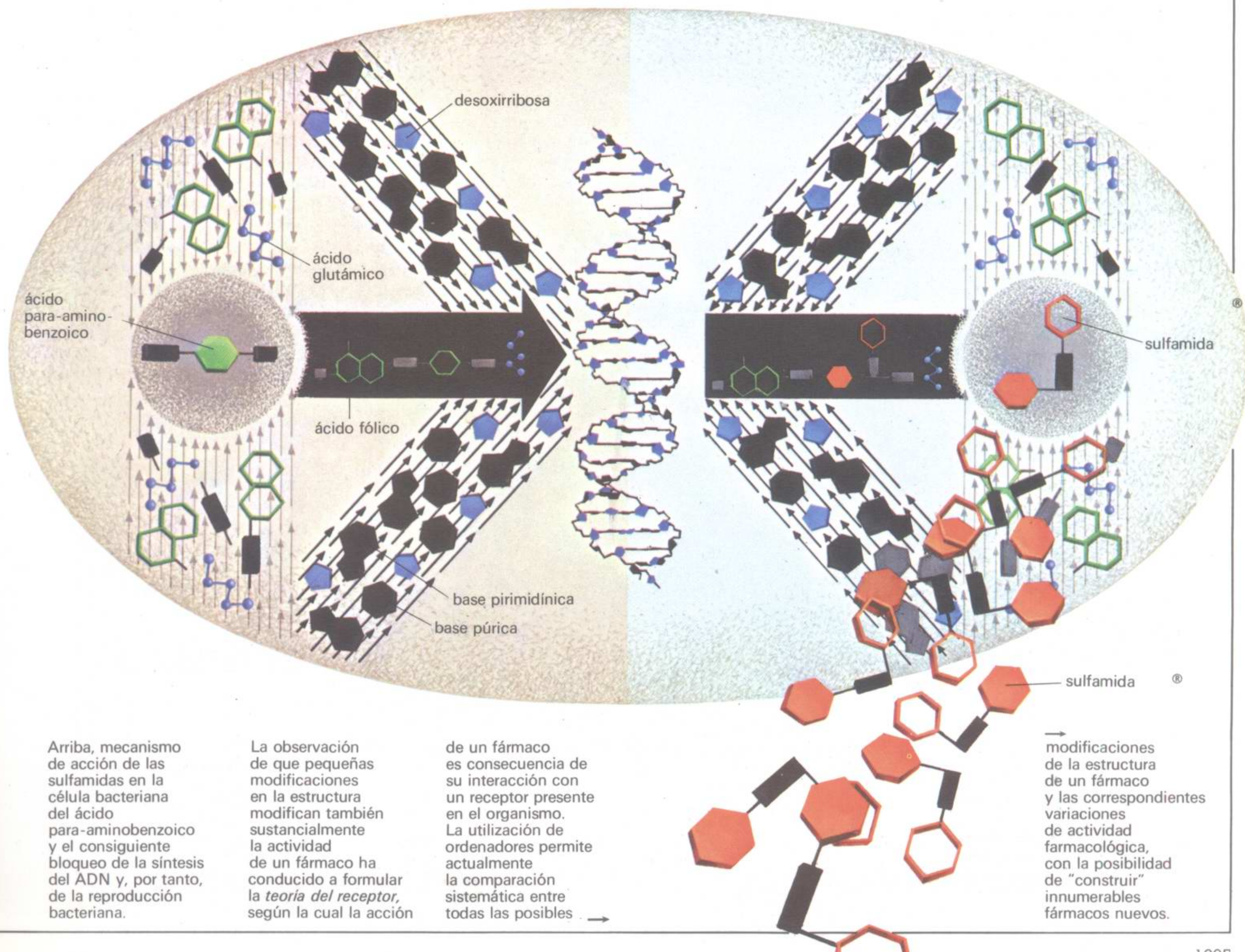
En algunos casos, el fármaco es incorporado en una sustancia que es sólida a la temperatura ambiente y que se disuelve a la temperatura corporal. Tal preparación puede ser introducida en el recto (supositorios) o en la vagina (óvulos vaginales), en donde el fármaco es absorbido cuando la sustancia vehiculante se funde.

El farmacólogo investiga todas estas posibilidades y trata de ponerlas a disposición del médico, que hace la selección final sobre la administración del medicamento al paciente.

La Farmacología comprende también una amplia gama de sustancias medicinales que pueden ser adquiridas sin receta médica. Debido a que estos productos son generalmente autoadministrados por el propio paciente, la dosificación no puede ser tan precisa como en el caso de los medicamentos para los que la prescripción es obligatoria, y las instrucciones de la etiqueta deben tenerlo en cuenta.

Probablemente la función más compleja de la Farmacología es establecer el recorrido llevado a cabo por el fármaco hasta alcanzar el órgano específico al que está destinado, y cómo realiza su acción una vez que lo ha alcanzado. El primero de estos problemas puede ser resuelto mediante la utilización de los isótopos radiactivos como trazadores. El conocimiento del mecanismo de acción de un fármaco es mucho más difícil, ya que requiere el conocimiento previo de la bioquímica de los individuos sanos y enfermos. Sabemos que la acción de los fármacos está siempre basada en una interacción entre los mismos (a través de sus moléculas) y unas sustancias que existen en el organismo y que se denominan *receptores*. Se ha lanzado la hipótesis de que los receptores pueden estar ligados químicamente a ciertos enzimas e incluso a ciertas moléculas de la célula que sirven para atraer y para orientar las moléculas de los medicamentos. Es éste seguramente uno de los problemas más fascinantes de la Farmacología, ciertamente uno de los campos más apasionantes de la Medicina.

Véase **Enfermedad; Farmacéuticos, productos; Medicina**



Arriba, mecanismo de acción de las sulfamidas en la célula bacteriana del ácido para-aminobenzoico y el consiguiente bloqueo de la síntesis del ADN y, por tanto, de la reproducción bacteriana.

La observación de que pequeñas modificaciones en la estructura modifican también sustancialmente la actividad de un fármaco ha conducido a formular la *teoría del receptor*, según la cual la acción de un fármaco es consecuencia de su interacción con un receptor presente en el organismo. La utilización de ordenadores permite actualmente la comparación sistemática entre todas las posibles → modificaciones de la estructura de un fármaco y las correspondientes variaciones de actividad farmacológica, con la posibilidad de "construir" innumerables fármacos nuevos.

Faro

Aunque ya Homero mencionara en sus poemas unos fuegos señalizadores encendidos sobre las colinas cerca de la costa, el primer faro del que tenemos noticia fue el de Alejandría, en Egipto, de 122 metros de altura y que constituía una de las siete maravillas del mundo antiguo. El faro, mandado construir por Tolomeo, fue levantado alrededor del año 280 a. de C. y permaneció en pie más de mil años, siendo destruido por un terremoto. Este fue el prototipo de los faros modernos. La luz, producida por un fuego de madera resinosa, era proyectada por unos espejos metálicos a una distancia de 50 kilómetros.

También los fenicios y los romanos construyeron muchos faros, como el de Ostia, antigua ciudad romana, y la torre de Hércules, en La Coruña. Sin embargo, debido a la disminución de los intercambios comerciales que se produjo durante la Edad Media, no se registraron nuevas construcciones en el período que va desde la caída del Imperio Romano hasta el siglo XII, cuando se reemprendió el comercio. El progreso fue lento, pero en el año 1600 existían ya por lo menos 30 faros a lo largo de la costa europea.

En el siglo XVIII el número de faros se multiplicó rápidamente, sobre todo en Europa y en América.

El faro moderno data de comienzos del siglo XVIII, cuando las mejoras aportadas permitieron la construcción de torres completamente expuestas al mar y a las inclemencias meteorológicas. Aunque en un principio el material utilizado para construir las torres era la madera, su fragilidad llevó a la construcción basada en grandes bloques de piedra superpuestos, que ha sido el sistema más utilizado hasta el siglo XX en el que cemento y acero se han impuesto como los materiales más idóneos para la construcción de faros.

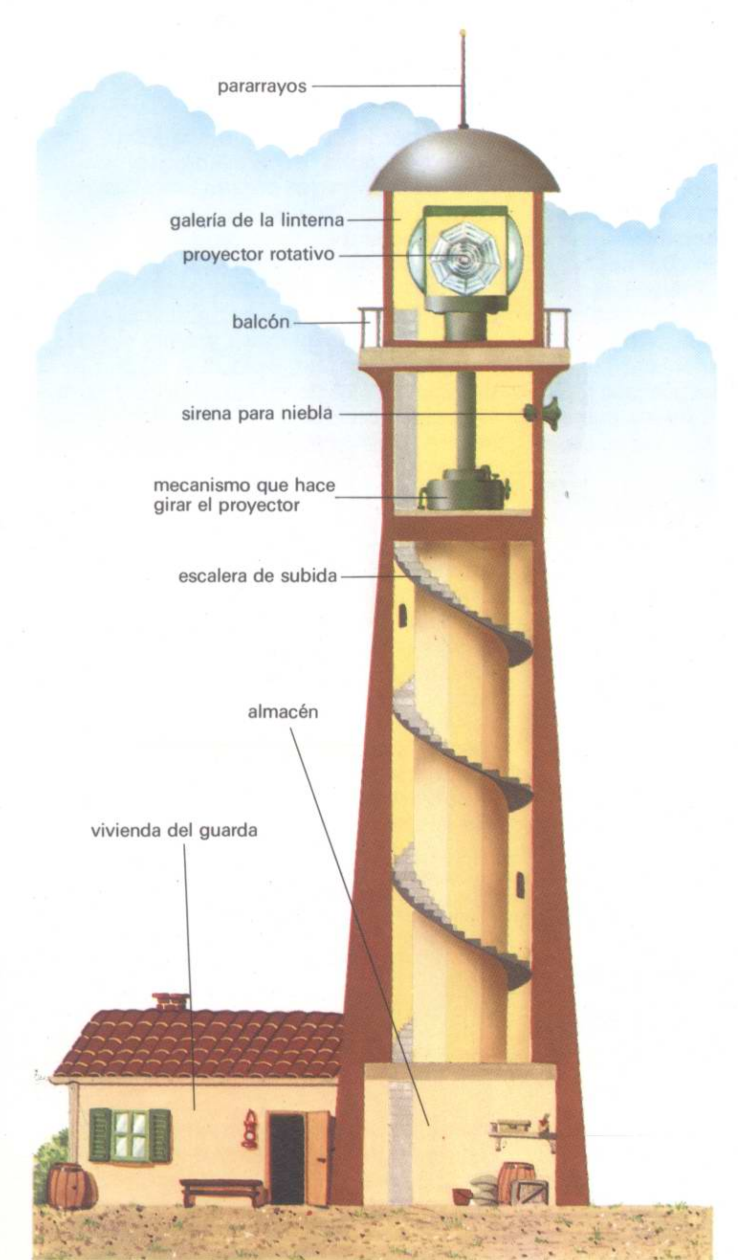
Actualmente, en que la tecnología ha eliminado la necesidad de la presencia humana en los faros, ya no es necesario construir un alojamiento para el personal que los mantiene y las nuevas estructuras están formadas por unas torres de acero reducidas a lo esencial, prescindiendo de la tradicional forma cilíndrica. Hoy día la mayor parte de los faros son completamente automáticos y se pueden construir tanto en mar abierto como sobre tierra firme o rocas.

Iluminación óptica El elemento fundamental de todo faro es su foco luminoso. Los primeros faros consistían en fogatas de leña, lo que presentaba los naturales inconvenientes de la rápida combustión de este material y el costoso servicio de mantenimiento. También se usaron carbón y candelas. A finales del siglo XVIII, y gracias a la revolucionaria invención de las lámparas de aceite, el foco de los faros comenzó a tener verdadera utilidad, aumentando la intensidad y el alcance de la luz debido al uso de reflectores metálicos. Esta concentración de luz en un solo punto requirió la utilización de motores, que primeramente fueron de transmisión elástica y posteriormente eléctricos, para hacer girar la lámpara y producir el característico haz de luz. En el siglo XIX se añadieron unas lentes prismáticas a los reflectores para concentrar la débil luz producida por la lámpara de aceite y obtener una intensidad parecida a la del faro de un automóvil.

A principios del siglo XX se introdujo la iluminación por queroseno y gas acetileno. Finalmente, después de la I Guerra Mundial, cuando se constató la utilidad de la lámpara eléctrica de filamento, ésta sustituyó rápidamente a los anteriores tipos. Ulteriores mejoras de las lentes y de los reflectores han hecho posible que una lámpara de 500 watios sea visible a una distancia de 36 kilómetros. Recientemente los constructores de faros han experimentado con tubos de gas xenón, similares al *flash* utilizado por los fotógrafos, que emiten unas breves ráfagas de luz muy intensa.

Ciertamente la niebla hace que a veces hasta las luces más potentes resulten inú-









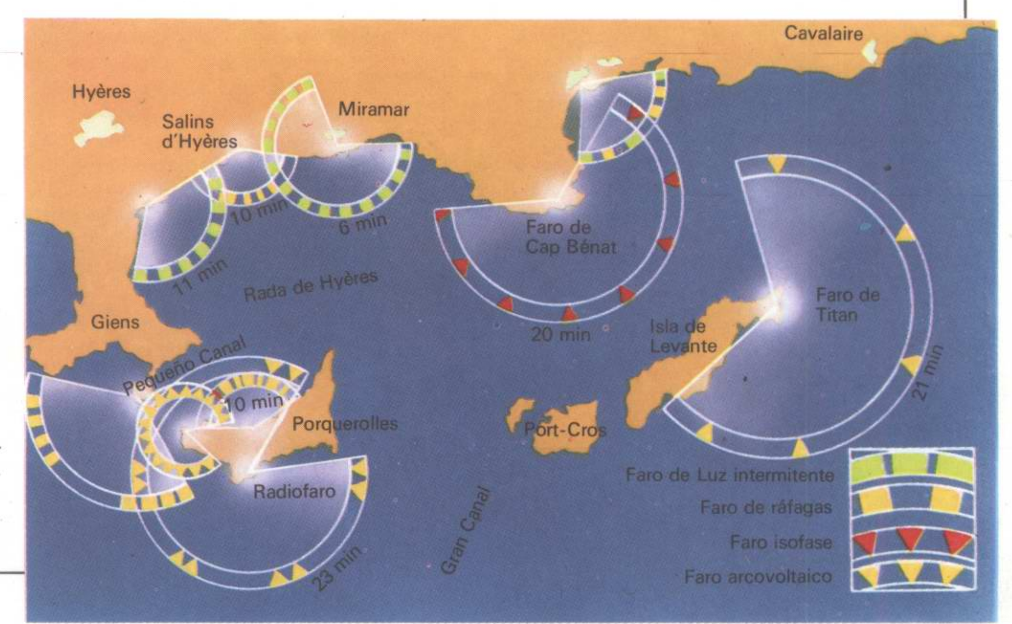
La forma del faro es generalmente tronco-cónica, su altura puede llegar a los 30 metros y en su plataforma superior se halla la sala de la linterna, donde se encuentra un potentísimo proyector. Un sistema de lentes concentra los rayos luminosos de forma que su luz sea visible a una distancia de más de 30 kilómetros. El proyector gira lentamente sobre sí mismo y por lo tanto su señal luminosa es visible en todas las direcciones en determinados momentos. Su luz es además intermitente. Durante el día, la forma y el color del faro pueden servir como referencia a los navegantes. A la izquierda vemos la sección de un faro de funcionamiento eléctrico, atendido por un guarda.

tiles, por lo que los faros suelen disponer, además, de un dispositivo emisor de sonido a base de una sirena o bocina, que se hace funcionar cuando hay poca visibilidad. Por otro lado, muchos faros cuentan con un sistema de radiotransmisión para ayuda a la navegación.

Desarrollos recientes En los últimos años el perfeccionamiento cada vez mayor de los sistemas de navegación a bordo de los barcos ha reducido la necesidad de los faros. Los faros que quedan están en fase de automatización, con la instalación de ordenadores y analizadores de la situación meteorológica, que accionan las señales acústicas cuando hay niebla y envían a tierra los datos meteorológicos. Además de los tradicionales faros terrestres, existen faros flotantes o buques-faro, embarcaciones a bordo de las cuales se ha instalado un faro, y que se fondean en lugares (escollos, arrecifes, etc.) en donde no es posible la construcción de una torre para un faro de tipo convencional.

Véase **LORAN; Navegación; Radar; Radiocomunicaciones**

El foco luminoso de un faro es continuo y de de intensidad constante, pero mediante unos artificios se logra que cada faro tenga una apariencia característica; de esta forma los navegantes pueden saber cerca de qué puerto se encuentran, la conformación de la costa y otros datos. La carta de navegación ideal, representada a la derecha de estas líneas, indica todos los faros existentes y proporciona las informaciones pertinentes para su identificación, tales como la periodicidad de las señales y el color de los haces luminosos. En la página anterior vemos el faro de la isla de Wight, en el Canal de la Mancha.



Fecundación e inseminación artificial

A diferencia de otras funciones vitales, como la nutrición y el metabolismo, la reproducción no es necesaria para la vida de cada individuo particular, pero sí es imprescindible para la continuidad de las especies de organismos. Dado que cada ser vivo procede de la reproducción de otros de su misma especie, si todos los miembros de una especie perdieran o no ejercieran su capacidad de reproducción, dicha especie desaparecería tras esa generación.

Reproducción asexual y reproducción sexual La forma de reproducción más sencilla es la *asexual*: un fragmento —frecuentemente una única célula— del progenitor se separa de éste para dar lugar a un nuevo individuo. Así, durante la reproducción asexual el descendiente hereda los genes de su único progenitor, y sólo de él. La reproducción *sexual*, más compleja, se basa en la unión de dos células especializadas, o *gametos*, para dar una célula única, o *cigoto*, cuyo desarrollo dará origen al nuevo individuo, el cual presentará genes provenientes de uno y otro gameto; concretamente, por cada gen proveniente del gameto masculino o *espermatozoide*, el cigoto recibirá otro gen homólogo del gameto femenino u *óvulo*. Obviamente, el cigoto contendrá el doble de genes que cada uno de los gametos que lo originaron; técnicamente, se dice que el cigoto es una célula diploide, mientras que los gametos son haploides. Si el proceso de la reproducción sexual tuviera lugar sin un mecanismo biológico que en cada generación restituyese a los gametos el número haploide de genes a partir del diploide del cigoto, el número de genes de los individuos de la especie se duplicaría en cada generación, lo que es manifiestamente absurdo. De hecho, tal proceso reductor de la dotación genética diploide a la haploide existe y consiste en un tipo especial de división celular llamado *meiosis*. Así, en los organismos con reproducción sexual, alterna una fase diploide, resultante de la unión de los gametos, o *fecundación*, con una fase haploide, resultante de la meiosis.

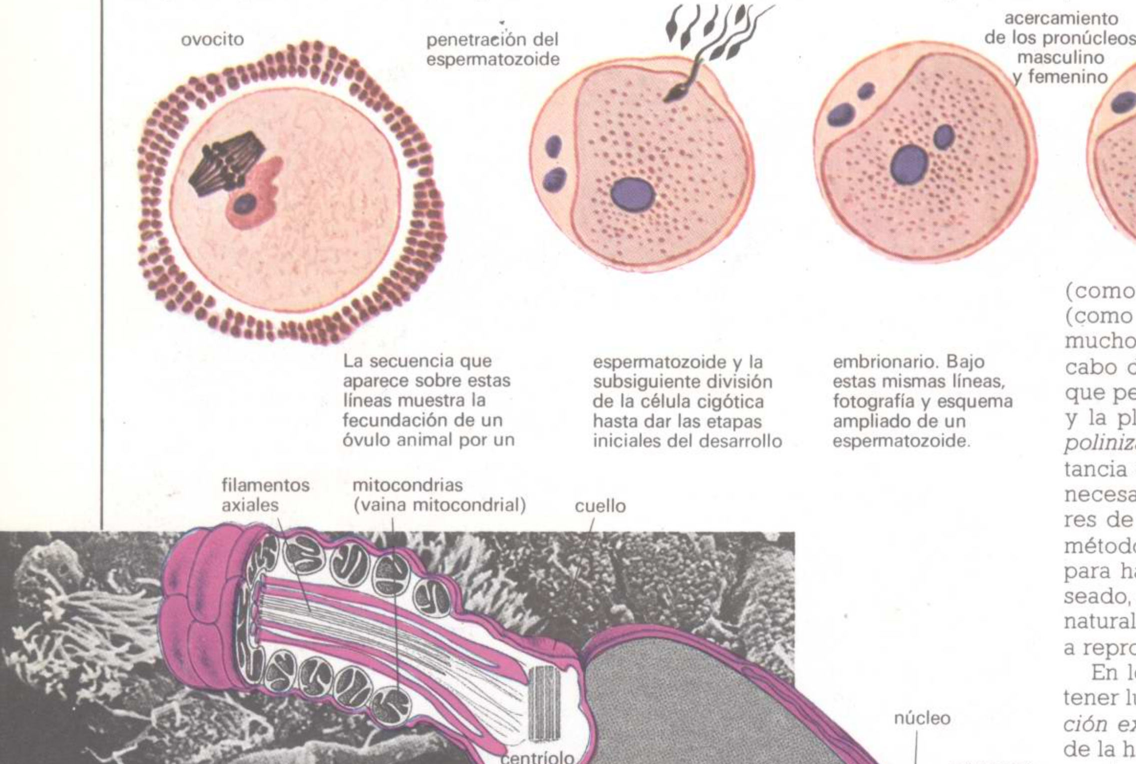
Repasando los ciclos vitales de plantas y animales, se constata una tendencia a que la fase diploide predomine sobre la haploide: así, en los animales, la etapa haploide se reduce a los propios gametos; entre los vegetales, algunos grupos de algas y los musgos tienen una etapa haploide importante, pero en los helechos, gimnospermas y angiospermas la fase haploide se reduce drásticamente, siendo la planta de tipo diploide.

La fecundación y sus modalidades En los animales, lo más frecuente es que cada individuo produzca únicamente una clase de gametos, masculinos o femeninos, siendo cada individuo macho o hembra, y la especie, de sexos separados. No obstante, también se dan casos de especies formadas por individuos hermafroditas, que producen tanto espermatozoides como óvulos, bien porque posean una única clase de gónada, llamada *ovotestis*, en la que se forman ambos tipos de gametos, bien, en otras especies, porque el mismo animal posea tanto testículos como ovarios. En las plantas se conocen muchas especies de sexos separados y otras muchas hermafroditas, bien porque el mismo pie de planta lleve flores masculinas y otras femeninas, bien porque la flor posea tanto órganos productores de polen como de óvulos.

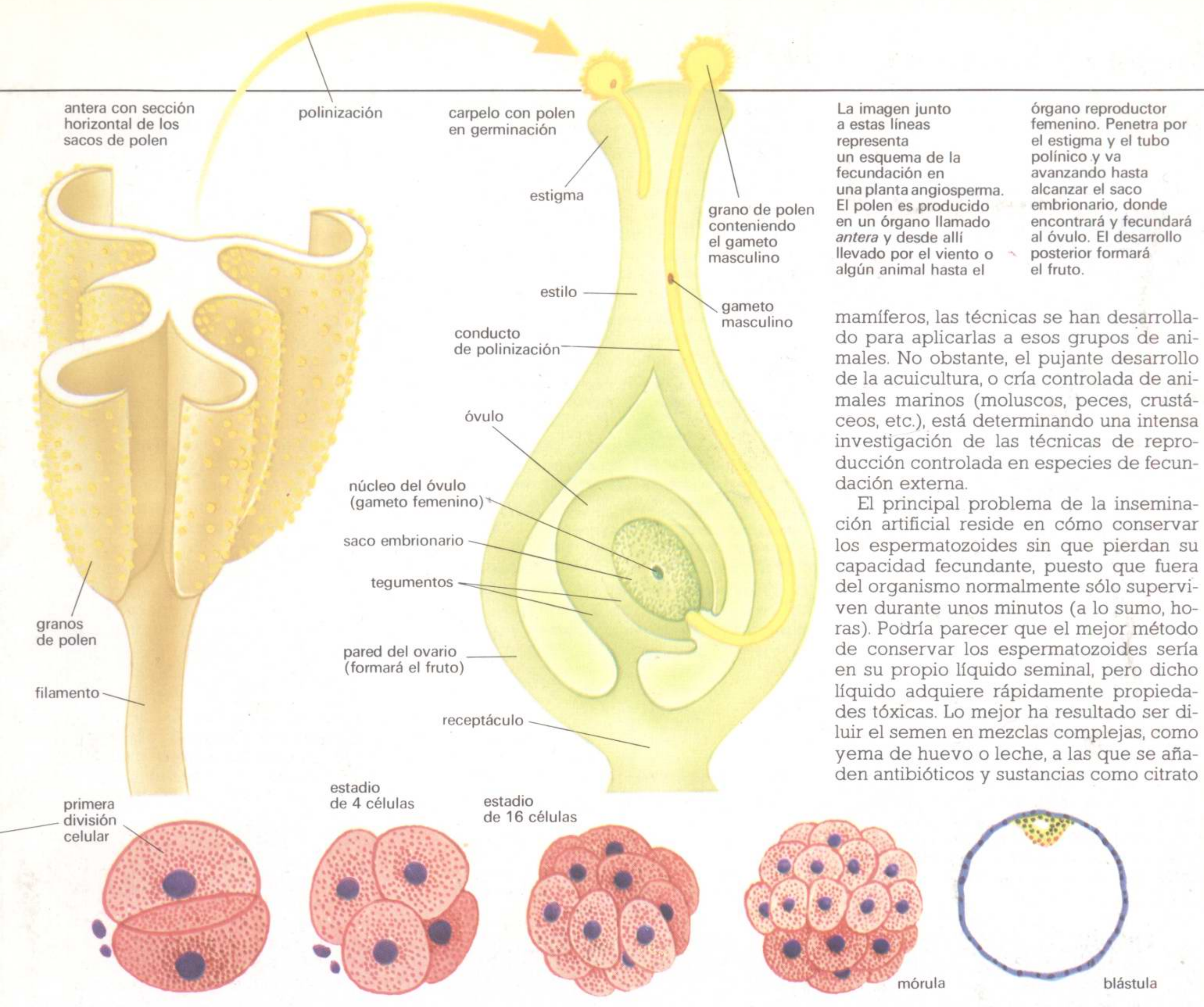
En las especies de sexos separados, cada uno de los dos gametos que intervienen en la fecundación provendrá, obligatoriamente, de un individuo distinto: se trata de la *fecundación cruzada*; si los individuos son hermafroditas, la *autofecundación* es posible, aunque en muchos casos también esas especies practican la fecundación cruzada.

Para que la fecundación tenga lugar, el gameto masculino debe alcanzar al femenino, normalmente inmóvil. En las plantas, la *polinización* puede ser llevada a cabo por el viento, por el agua, por insectos (como la abeja) o por otros animales (como pájaros o pequeños mamíferos). En muchos casos, la polinización es llevada a cabo deliberadamente por el hombre, lo que permite controlar el origen del polen y la planta a fecundar; estas técnicas de *polinización artificial* tienen gran importancia económica y científica. A veces es necesario extirpar los órganos productores de polen, esterilizar a las plantas por métodos genéticos o proteger el ovario para hacerlo inaccesible al polen no deseado, con objeto de evitar la polinización natural de la planta que se va a someter a reproducción controlada.

En los animales, la fecundación puede tener lugar fuera del organismo (*fecundación externa*) o en el interior del cuerpo de la hembra (*fecundación interna*). La fecundación externa tiene lugar, casi sin excepción, en un medio acuático, donde espermatozoides y óvulos son liberados y se encuentran espontáneamente. Todos los animales terrestres, y muchos acuáticos, poseen fecundación interna, que exige la *inseminación*, o impregnación con espermatozoides, de la hembra. El método más eficaz de lograrlo es la *cópula* o apareamiento de dos individuos de distin-



La secuencia que aparece sobre estas líneas muestra la fecundación de un óvulo animal por un espermatozoide y la subsiguiente división de la célula cigótica hasta dar las etapas iniciales del desarrollo embrionario. Bajo estas mismas líneas, fotografía y esquema ampliado de un espermatozoide.



La imagen junto a estas líneas representa un esquema de la fecundación en una planta angiosperma. El polen es producido en un órgano llamado *antera* y desde allí llevado por el viento o algún animal hasta el órgano reproductor femenino. Penetra por el estigma y el tubo polínico y va avanzando hasta alcanzar el saco embrionario, donde encontrará y fecundará al óvulo. El desarrollo posterior formará el fruto.

to sexo de la misma especie. El proceso que nos resulta más familiar, por ser el que se da en nuestra propia especie, consiste en la introducción de un órgano copulador especial, o pene, en la abertura genital, o vagina, de la hembra con la posterior liberación del semen en las vías genitales femeninas. No obstante, este método dista de ser el único entre los animales. En las aves, el procedimiento es la mera yuxtaposición de las cloacas; en los calamares, los machos disponen de un largo brazo que sirve para llevar masas de espermatozoides hasta la hembra; en las arañas, que carecen de pene, hay una gran diversidad de mecanismos de transferencia del semen. Los anfibios pueden servirnos perfectamente para romper cualquier esquema estrecho sobre las modalidades de fecundación: en los urodelos no hay acoplamiento y no obstante la fecundación es interna —el macho deposita en el agua masas gelatinosas con espermatozoides y, luego, la hembra las capta con los labios de su cloaca—, mientras que en los anuros hay apareamiento pero la fecundación es externa, expulsando el macho y la hembra simultáneamente sus gametos al exterior durante el coito.

Una vez producida la fecundación, el cigoto se desarrollará para dar el adulto bien directamente en el exterior, si la fecundación fue externa o si la hembra expulsa precozmente el huevo fecundado (animales *ovíparos*), bien en el interior de la hembra, de cuyo cuerpo saldrá como huevo desarrollado (*ovovivíparos*), o como individuo libre (*vivíparos*). Los animales vivíparos, tanto invertebrados como vertebrados, protegen más eficazmente el desarrollo de sus crías, siendo esta eficacia máxima en los mamíferos euterios, que poseen un órgano especial, o *placenta*, que permite un intercambio metabólico entre embrión y madre y, por tanto, una nutrición excelente de aquél en el interior de ésta. Muchos peces e insectos y las aves son ovíparos; las serpientes y lagartos, ovovivíparos; y los mamíferos, incluido el hombre, son vivíparos (excepto algunos monotremas).

Inseminación artificial En la práctica de la inseminación artificial se eligen los progenitores machos por el interés económico o científico que ofrezcan sus caracteres hereditarios. Puesto que la mayoría de los animales domésticos son aves o mamíferos, las técnicas se han desarrollado para aplicarlas a esos grupos de animales. No obstante, el pujante desarrollo de la acuicultura, o cría controlada de animales marinos (moluscos, peces, crustáceos, etc.), está determinando una intensa investigación de las técnicas de reproducción controlada en especies de fecundación externa.

El principal problema de la inseminación artificial reside en cómo conservar los espermatozoides sin que pierdan su capacidad fecundante, puesto que fuera del organismo normalmente sólo sobreviven durante unos minutos (a lo sumo, horas). Podría parecer que el mejor método de conservar los espermatozoides sería en su propio líquido seminal, pero dicho líquido adquiere rápidamente propiedades tóxicas. Lo mejor ha resultado ser diluir el semen en mezclas complejas, como yema de huevo o leche, a las que se añaden antibióticos y sustancias como citrato sódico para tamponarlas. Una vez diluidos, los espermatozoides se conservan a baja temperatura, conservando su capacidad durante meses, para luego recalentarlos e inyectarlos artificialmente en las vías genitales de la hembra elegida.

También se han desarrollado métodos para trasplantar óvulos fecundados de una hembra a otra cuyo útero está en condiciones fisiológicas de aceptarlo. Por este medio se logra que una hembra económicamente interesante deje muchas más crías de las que podría formar en su propio útero.

Recientemente se ha logrado conservar espermatozoides y óvulos fuera del organismo, realizar la fecundación en un tubo de ensayo y luego implantarlo en el útero de una hembra preparada.

Las técnicas de inseminación artificial, de trasplante de cigotos y de fecundación *in vitro* se vienen aplicando en los últimos años a la especie humana, habiendo ayudado a resolver muchos casos de parejas estériles, que antiguamente no hubieran podido tener hijos.

Véase **Gen; Genética; Ingeniería genética; Zootecnia**

Fenol

En el período 1861-1865, en el Glasgow Royal Infirmary, aproximadamente la mitad de las personas a quienes les fue amputado algún miembro murieron a causa de infecciones producidas después de la intervención. El jefe del Servicio de cirugía, Joseph Lister, consternado, al igual que otros colaboradores, por este hecho, decide buscar un remedio para dichas complicaciones posoperatorias. Basándose en los trabajos experimentales del químico francés Louis Pasteur, Lister formuló la hipótesis de que fueran los microorganismos la causa de esas infecciones. Sabía que un compuesto químico llamado *ácido carbólico* o *ácido fénico* había sido ya empleado, por su acción bactericida, para desinfectar el alcantarillado. Con una decisión revolucionaria, Lister aplicó mediante un pincel una solución diluida de ácido carbólico en los cortes y las heridas, inventando así los antisépticos.

Obtenido por primera vez del alquitrán mineral en 1834, el ácido carbólico constituye un elemento básico en la antisepsia moderna.

Desarrollo de sus aplicaciones El ácido carbólico se conoce actualmente como *fenol*, denominación usada también para el grupo de sustancias de la misma función química que aquélla, que es la más sencilla de la cual pueden derivarse. En forma concentrada, los fenoles ejercen una acción suficientemente ácida como para quemar la piel. Análogamente al fenol, algunos de sus derivados son capaces de destruir los microorganismos. Desafortunadamente, los fenoles pueden matar también a las personas: una dosis de 10-15 gramos de fenol es suficiente para ejercer una acción letal sobre el organismo humano; una exposición prolongada a una atmósfera que contenga vapores de fenol en una concentración mínima de 10 partes por millón puede ser igualmente fatal. Por tales razones, para usos quirúrgicos se adoptaron ya a principios de siglo otros tipos de antisépticos.

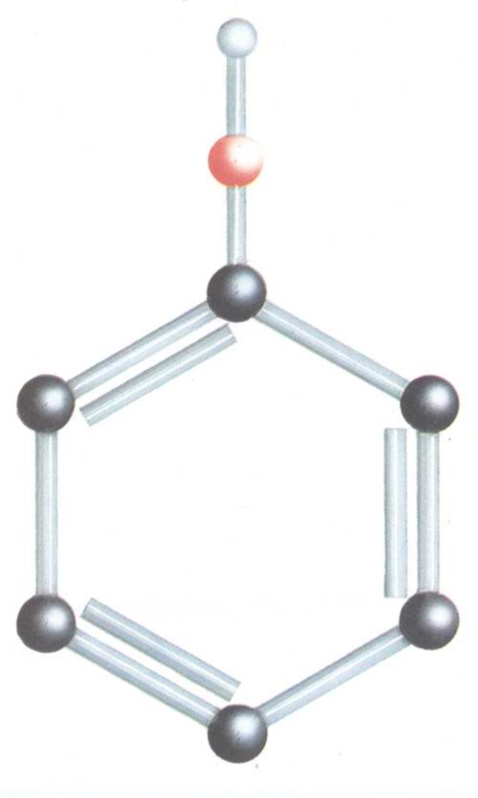
En 1909, un químico belga emigrado a EE UU, Leo Backeland, inventó la *baquelita*, el primer polímero producido sintéticamente, partiendo de una mezcla de fenol y formaldehído (compuesto orgánico usado para conservar las muestras de órganos en el laboratorio). Backeland protegió hasta 1926, mediante patentes, los métodos de fabricación de diversas resinas fenol-formaldehído, que en sus distintas variedades reciben la denominación de *baquelitas*. Para su producción y comercialización fundó la Baquelite Corporation. Fue el principio de un rápido desarrollo de los polímeros sintéticos y de la era de los plásticos: gracias a su bajo coste de producción, a la elevada resistencia mecánica y a la resistencia al envejecimiento, las resinas fenol-formaldehído se han convertido en un producto clave en la industria actual.

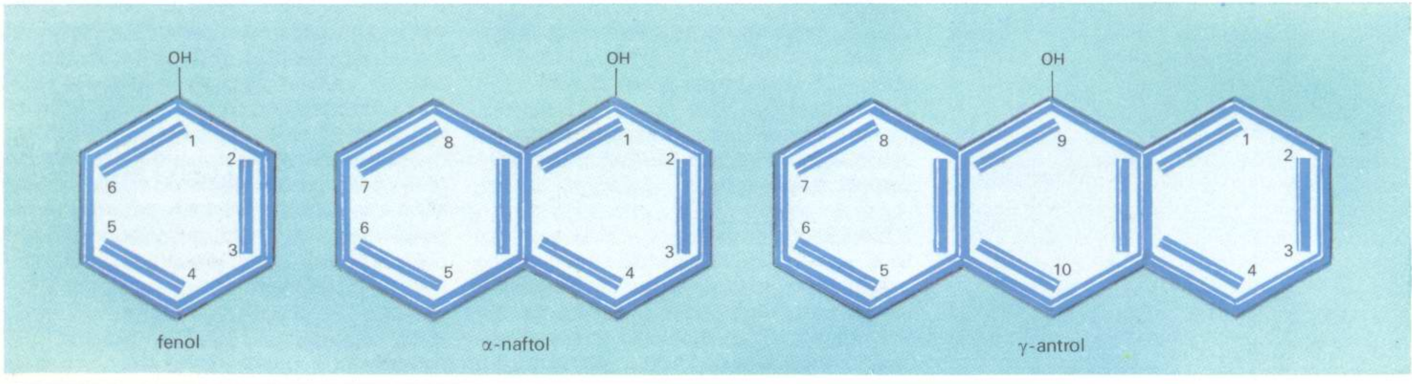
La estructura El desarrollo de las aplicaciones del fenol y sus derivados habría sido imposible sin el conocimiento de la estructura química de estos compuestos. El fenol, en concreto, tiene de fórmula química C_6H_5OH, y su estructura molecular consta de un anillo hexagonal de seis átomos de carbono —conocido como *anillo bencénico*—, con los átomos de hidrógeno unidos a cinco átomos de carbono. Al sexto átomo de carbono se une un grupo oxhidrilo, OH. Los químicos orgánicos indican la molécula del fenol dibujándola como se muestra en la figura central. En la práctica, en la representación de las reacciones químicas en las cuales intervienen compuestos aromáticos —como son conocidas comúnmente las sustancias que contienen el anillo bencénico— se usa la fórmula simplificada del hexágono formado de átomos de carbono.

Los derivados del fenol, como el cresol y la resorcina, se obtienen por sustitución de uno o más átomos de hidrógeno del anillo bencénico con grupos carbono-hidrógeno (llamados *alquílicos*) o con grupos oxhidrilos. Cada sustitución lleva a la formación de tres isómeros (*para*, *meta*, *orto*), cada uno con específicas propiedades fisicoquímicas. Otros compuestos, como el naftol, se obtienen condensando juntos más anillos bencénicos.

El átomo de hidrógeno del oxhidrilo se separa fácilmente del resto de la molécula y el ion fenóxido así formado puede fácilmente reaccionar con sustancias básicas (la pérdida del hidrógeno da al fenol su carácter ácido). Sus sales se llaman *fenolatos* o *fenóxidos*. Por tal razón, y por su estructura relativamente simple, el fenol se emplea ventajosamente en muchos procesos para la obtención de varias sustancias.

La fórmula grande, en el centro, es la del fenol, con el anillo bencénico completo de seis átomos de carbono dispuestos en forma hexagonal, tal como fue propuesta por Kekulé (1829-1896). Abajo, fórmulas simplificadas, usadas corrientemente para los compuestos aromáticos. Los dobles enlaces pueden no señalarse, ya que, según las modernas teorías electrónicas de *valencia*, la estructura del anillo bencénico no sería un sistema rígido de dobles enlaces conjugados, sino la resultante de una disposición variable de los dobles enlaces, llamada *híbrido de resonancia*. Esta sería determinada por los orbitales de los electrones de valencia puestos en común por los seis átomos de carbono, formando así un único orbital en forma de anillo dispuesto en el plano de la molécula. Tal configuración puede explicar las típicas propiedades quimicofísicas de los compuestos aromáticos. Abajo se han representado los fenoles simples, esto es, los monohidroxiderivados de compuestos aromáticos con diversos anillos condensados: bencénico, naftalénico, antracénico, con los átomos de carbono numerados para definir los derivados.





La producción Los fenoles se emplean como materiales de partida en la obtención de diversos productos para uso industrial y doméstico, como el nailon, los detergentes, las sustancias usadas para curtir, los plastificantes, los conservantes antioxidantes (como el BHT), los aditivos para aceites lubricantes, los poliuretanos, la aspirina, los colorantes, los conservantes de la madera, los herbicidas, los fungicidas, los pesticidas, los aditivos para gasolinas, etc. Cada año se producen más de 700.000 toneladas de fenol en EE UU, la mayor parte por vía sintética.

Es notorio que los fenoles se encuentran muy difundidos en la Naturaleza, en sustancias como el timol, contenido en el aceite de tomillo; o el catecol, que en forma ligeramente modificada se convierte en el agente irritante contenido en el *Rhus toxicadendron* (arbusto venenoso típico de América del Norte, donde se le conoce con el nombre de "*mala mujer*").

También las sustancias tánicas son derivadas del fenol, así como numerosas sustancias colorantes de flores y de frutas, sustancias aromáticas y medicamentosas, etcétera.

Véase **Acidos y bases; Anillo bencénico; Química orgánica**

PROPIEDADES FISICAS Y APLICACIONES DE ALGUNOS FENOLES

Nombre técnico	Nombre común	Fórmula estructural	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Aplicaciones
fenol	fenol	OH	41	182	colorantes, productos farmacéuticos, resinas
2-metilfenol	0-cresol	OH, CH_3	31	191	colorantes, productos farmacéuticos, desinfectantes
3-metilfenol	m-cresol	OH, CH_3	12	202	id.
4-metilfenol	p-cresol	OH, H_3C	35	202	id.
3-metil 6-isopropi- fenol	timol	CH_3, HO, $H_3C-CH-CH_3$	51	232	productos aromáticos, farmacéuticos, cosméticos
1,2-bencenodiol	pirocatequina	OH, OH	105	245	fotografía, colorantes, productos farmacéuticos
1,3-bencenodiol	resorcina	OH, OH	110	(descompone)	productos farmacéuticos, colorantes, adhesivos
1,4-bencenodiol	hidroquinona	HO, OH	170	id.	fotografía, antioxidantes
1-hidroxinaftaleno	naftol	OH	96	288 (sublima)	colorantes, productos farmacéuticos
2-hidroxinaftaleno	naftol	OH	123	295	id.
9-hidroxiantraceno	antrol	OH	160	(descompone)	colorantes



Junto a estas líneas, una vista de la planta de Montedison, en Mantua, que produce fenol mediante el proceso *al cumeno*. De la reacción del propileno con el benceno se obtiene el cumeno. Después de purificado, pasando a través de las columnas depropanizadora y debencenizadora, el cumeno se oxida con el aire en el reactor de oxidación, dando lugar a la formación de hidroperóxido de cumeno. Este producto es tratado con un ácido en el reactor de descomposición, donde se obtiene acetona y fenol. Después de pasado por un separador, el fenol es destilado en las torres —como las de la fotografía— separado de la acetona y del exceso de cumeno, que se recupera y entra de nuevo en el ciclo.

Fermentación

Gracias a la fermentación —uno de los procesos más antiguos y conocidos de transformación y conservación de alimentos— es posible obtener tipos muy diversos de productos lácteos, como el queso y el yogur, así como también las verduras en vinagre, el propio vinagre, la salsa de soja, las salazones, las bebidas alcohólicas, el pan, etcétera.

Al igual que las bacterias, las levaduras y los mohos que provocan la fermentación están presentes por todas partes, por lo que fue fácil para los hombres primitivos "descubrir" por azar el proceso. Entre la enorme variedad de microbios existentes, cada uno provoca un tipo específico de fermentación y produce aromas y sabores característicos. En consecuencia, pronto se desarrolló un amplio espectro de técnicas para la producción de quesos, salazones, pan, vino, etc. Las fórmulas necesarias, generalmente custodiadas celosamente por familias, empresas o corporaciones gremiales, especificaban desde los más ínfimos detalles hasta los utensilios y los recipientes que se debían utilizar, e incluso las características de los locales donde debía tener lugar el proceso.

Desarrollo de la teoría científica Naturalmente, antes como hoy, muchos productos fermentados se producen sin aislar e identificar las variedades de microorganismos que determinan la fermentación. Después de los descubrimientos de Louis Pasteur y del desarrollo de la Microbiología moderna, se ha llegado a comprender perfectamente que la acción de los microorganismos produce la transformación del material orgánico de los alimentos en compuestos más simples, y por lo tanto más fáciles de asimilar. Además, el organismo de los microbios también es útil como alimento y enriquece la flora intestinal, como es el caso de los fermentos lácticos. El mejor conocimiento de la variedad de microbios y de su forma de vivir ha permitido a algunas industrias controlar completamente los procesos de fermentación, difundirlos y aplicarlos a gran escala.

Los estudios realizados en el presente siglo han revelado definitivamente que la fermentación es un proceso de transformación química de las sustancias orgánicas llevado a cabo por los enzimas producidos por los microorganismos. Dichos enzimas pueden actuar en los procesos de transformación independientemente de la presencia de los microorganismos en los que están contenidos. Desde este punto de vista, todos los procesos fisiológicos de los organismos vivientes, que obtienen energía a través de la transformación enzimática de las sustancias orgánicas (mediante la respiración), son semejantes a las fermentaciones. Entre éstos, el más importante para los microorganismos es la *respiración anaerobia*, o *glicólisis*. Estos microorganismos tienen la capacidad de obtener la energía necesaria para su vida directamente de las sustancias que ellos mismos fermentan (*anaerobiosis*), en vez de obtenerla de la oxidación (*aerobiosis*). Eso provoca el que, en contra de la respiración aeróbica que oxida totalmente la glucosa a dióxido de carbono y agua, el proceso respiratorio se realice de distinta manera, llevando a la formación de otras sustancias (alcohol etílico, ácido láctico). Dicho proceso se desarrolla a través de una cadena de reacciones químicas en las que los átomos de hidrógeno son transportados de una molécula a otra, generando una serie de compuestos intermedios según ciertos mecanismos de reacción, gobernados por los sistemas enzimáticos presentes, que pueden ser específicos para cada especie y cepa de microorganismos que los producen.

Los procesos de fermentación son, por lo tanto, múltiples en correspondencia con el enorme número de agentes microbianos responsables; en muchos casos, algunos de ellos dan origen a compuestos distintos según sea el tipo de sustrato o las condiciones ambientales en que se desarrollen. De hecho, modificando las condiciones de acidez o de temperatura se puede inclinar la fermentación hacia la formación de un producto de mayor interés práctico respecto de otro posible.

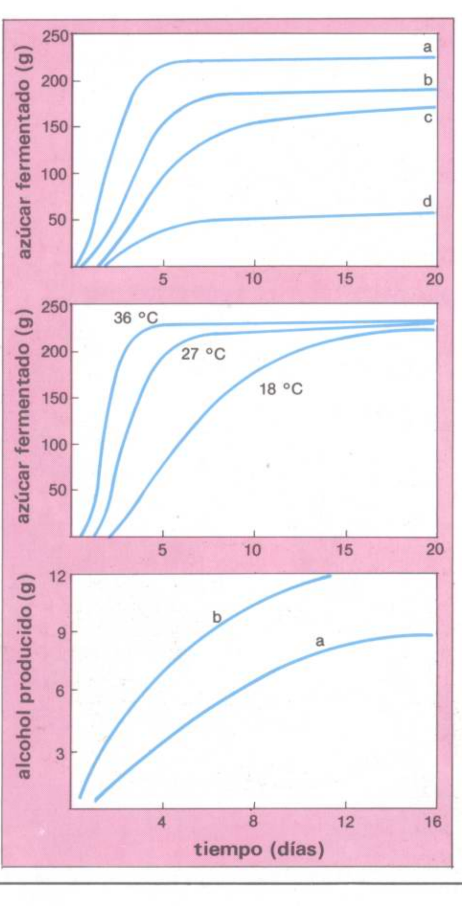
Desde el punto de vista de la naturaleza química de las sustancias fermentadas (sustrato), se debe distinguir la fermentación de las sustancias nitrogenadas de la de los hidratos de carbono (azúcares, almidón, celulosa, etc.); y las fermentaciones de los ácidos de la de los alcoholes. Se pueden distinguir también las fermentaciones anaeróbicas (alcohólica, láctica, glicérica, propiónica, butírica, metánica, etc.) de las aeróbicas oxidantes (acética, cítrica, acetobutílica, fumárica, etcétera).

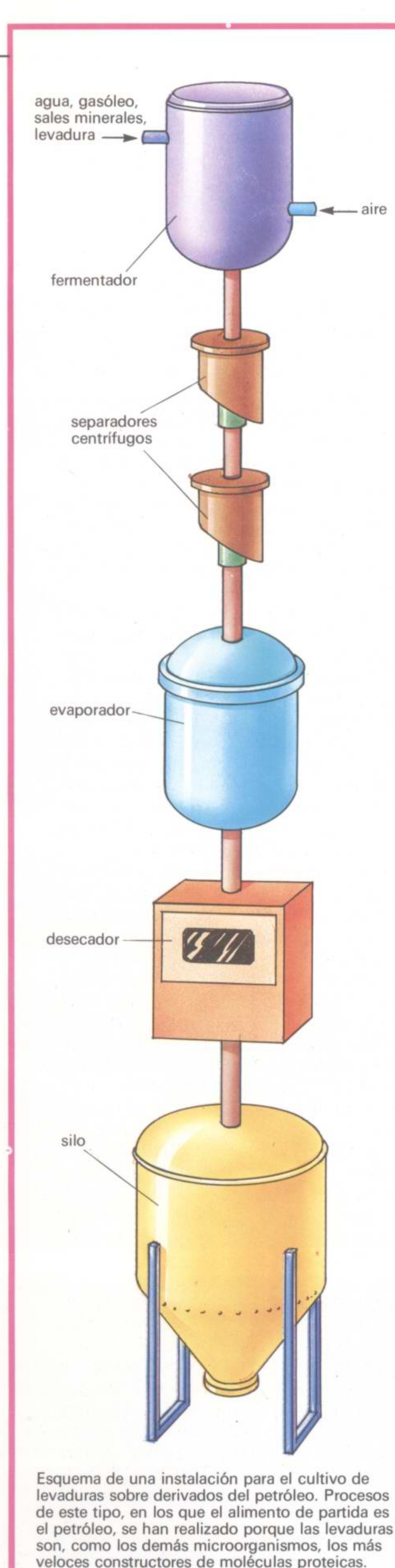
La fermentación pútrida (*putrefacción*), llamada también *fermentación amoniacal*, que tiene lugar a partir de las sustancias nitrogenadas, conduce a la formación de amoniaco y de otras bases amoniacales por obra de hongos y bacterias, tanto aerobias como anaerobias.

Aplicaciones Posteriormente al conocimiento de los mecanismos de todas las reacciones que tienen lugar durante la fermentación se han desarrollado las aplicaciones de la Microbiología, no solamente en el campo alimentario, sino también en el médico e industrial.

Por lo que se refiere al sector alimentario, las técnicas empíricas de la vinificación, de la obtención de la cerveza y demás bebidas alcohólicas, de la acetificación, así como las seguidas en las industrias lácteas, en las panificadoras, en las fábricas de embutidos y en las conserveras en general han sido modificadas según bases científicas, ya sea seleccionan-

Bajo estas líneas, esquema que ilustra cómo el proceso de fermentación a partir de sustancias de varios tipos, pero sobre todo de residuos orgánicos, permite obtener ya sea el crecimiento de la colonia bacteriana, que es el origen primero de la fermentación, ya sea la producción de sustancias útiles, como pueden ser los combustibles gaseosos. Debajo, los tres diagramas ilustran cómo el proceso de fermentación se produce en el tiempo con distinta velocidad según varíe la capa bacteriana (a, b, c ó d) (arriba); cambie la temperatura a la que se desarrolla el fenómeno (en el centro); sea distinta la oxigenación (en *a*, ambiente abierto; en *b*, ambiente cerrado) (debajo). En la página siguiente, a la derecha, una gran instalación de fermentación para la producción de penicilina.





Esquema de una instalación para el cultivo de levaduras sobre derivados del petróleo. Procesos de este tipo, en los que el alimento de partida es el petróleo, se han realizado porque las levaduras son, como los demás microorganismos, los más veloces constructores de moléculas proteicas. Las proteínas procedentes del petróleo son peligrosas y ya no se usan: de todas formas, se aplican procesos análogos a otras sustancias.

do las cepas de microorganismos más idóneas, ya sea utilizando las condiciones de reacción óptimas.

En el sector médico, uno de los descubrimientos más importantes del siglo ha sido el de los antibióticos: los microbiólogos se dieron cuenta de que, en la Naturaleza, los microbios combaten entre sí. De esta manera empezaron a buscar los "antibióticos", sustancias producidas por algunos hongos microscópicos durante su crecimiento, que tienen el poder de inhibir el desarrollo de las bacterias. Descubrieron uno en 1901, llegando a tratar con éxito a muchos pacientes, pero no pudieron producirlo en cantidad suficiente. La penicilina fue descubierta por A. Fleming en 1927-1929, pero también tuvo que ser abandonada, hasta que un grupo de científicos británicos (Chain, Florey) desarrolló técnicas adecuadas de control de calidad y de cultivo masivo de los hongos microscópicos o *mohos* durante la II Guerra Mundial. Desde entonces han sido aislados muchos antibióticos, que incluso han sido modificados químicamente para obtener una mayor actividad farmacológica.

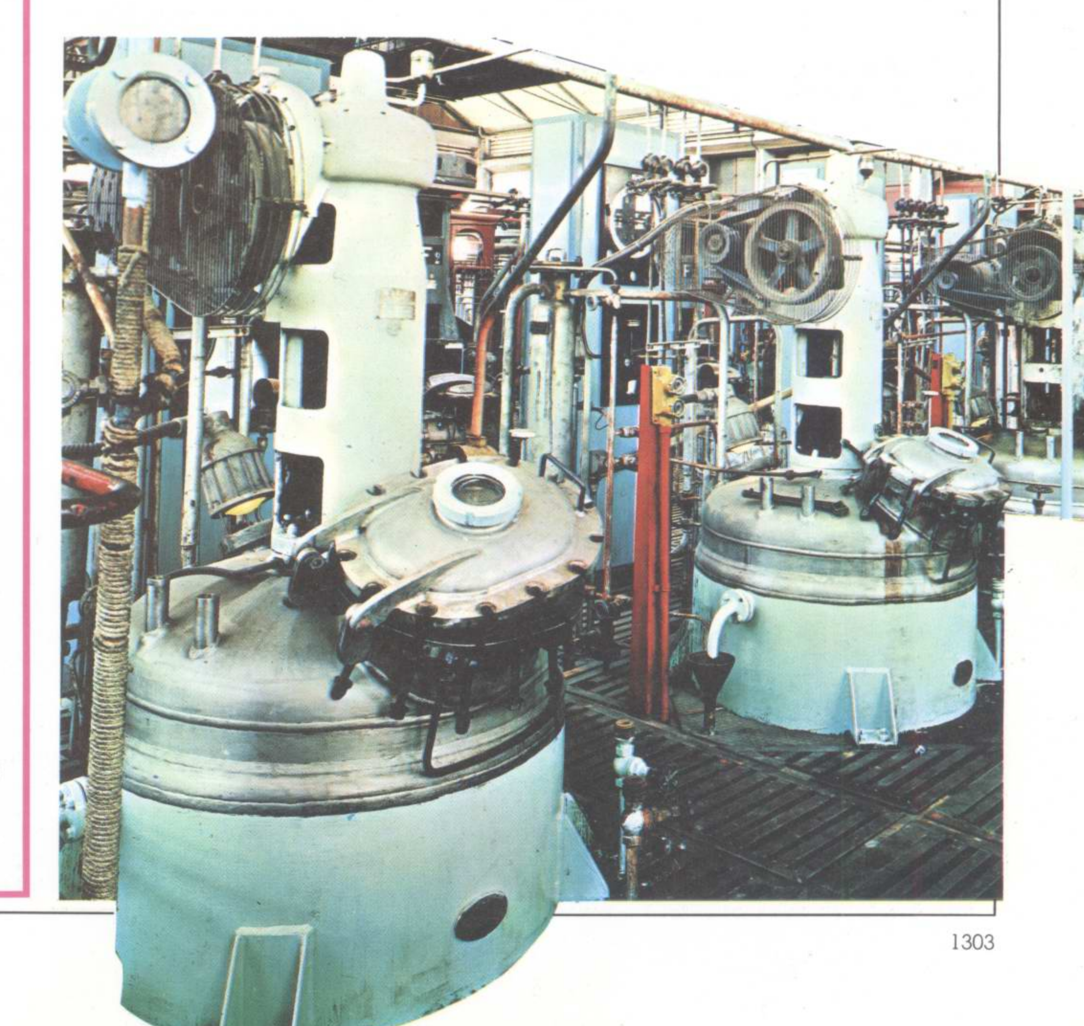
Hoy día, las industrias fabrican una gran variedad de productos de fermentación, como carburantes constituidos por alcohol etílico o metílico para sustituir a la gasolina, disolventes, colorantes, materias plásticas y otros polímeros, ácido cítrico, cortisona, insecticidas, aromatizantes artificiales y las vitaminas B_2, B_{12} y C.

El tratamiento microbiano (digestión por parte de los microbios) es una fase importante en la depuración de las aguas contaminadas. La digestión anaeróbica es una parte importante del proceso de tratamiento de los vertidos y es fundamental para la reducción del material orgánico de las aguas residuales. Dicho tratamiento implica un gran número de procesos de fermentación: acción sobre los hidratos de carbono, como la transformación del ácido pirúvico en acetilmetilcarbinol y dióxido de carbono, y la fermentación metánica, que produce metano y dióxido de carbono e hidrocarburos. En este último proceso se basa la preparación de biogás a partir de los residuos agrícolas y de los excrementos de los animales en las granjas, donde se puede utilizar directamente como fuente de energía alternativa.

En el futuro, la sacarificación de la celulosa procedente de los residuos de la industria maderera y la síntesis de las proteínas alimenticias mediante la fermentación de los hidrocarburos pueden jugar un papel fundamental en la producción mundial de alimentos.

Pero el desarrollo de la Microbiología industrial puede provocar graves problemas; de hecho, se pueden difundir en el ambiente microbios nuevos y mutantes. Ejemplo de ello es que en los hospitales son frecuentes las infecciones provocadas por gérmenes altamente resistentes a los antibióticos.

Véase **Agua, depuración; Bacterias; Biogás; Cerveza; Enzimas; Oxidación y reducción; Quesera, industria; Vino, fabricación del**



Ferrocarril

El hombre construyó vehículos sobre carriles mucho antes de la invención de la máquina de vapor. Ya en los caminos egipcios y grecorromanos se empleaban dos fajas de piedras duras, con la separación conveniente, para que los carros pudieran rodar con más facilidad; con el tendido de estos "carriles" se evitaban baches y roderas, al tiempo que se reducía el rozamiento y la resistencia al avance de los vehículos con ruedas.

La mayoría de los vehículos sobre carriles construidos antes de 1825 hacían recorridos muy cortos, de unos 3 km o menos, transportando mercancías como carbón o piedra. Estos vagones eran arrastrados por caballos o seres humanos. El crecimiento del tráfico indujo a unir dos o más vagones con sencillos enganches de hierro. Los carriles, de madera o de hierro, poseían un reborde exterior o doble para que las vagonetas no descarrilaran.

Sin embargo, fue la aplicación de la máquina de vapor lo que posibilitó que el ferrocarril constituyese en la segunda mitad del siglo XIX el elemento impulsor fundamental del desarrollo económico y social en los países más adelantados. El primer ferrocarril de vapor abierto al servicio público fue el construido por Stephenson entre Stockton y Darlington (16 km), inaugurado el 27 de septiembre de 1825. Cinco años más tarde se inauguraba el ferrocarril que unía Liverpool y Manchester (48 km). En España, el primer ferrocarril entró en servicio el 28 de octubre de 1848 y cubría la línea entre Barcelona y Mataró. Poco después, en 1851, se inauguró la segunda línea, de Madrid a Aranjuez.

Locomotoras Las primeras locomotoras de vapor, construidas por el ingeniero inglés R. Trevithick, resultaron tan pesadas que rompían frecuentemente los raíles de fundición sobre los que se desplazaban. En 1812 un funcionario de una mina inglesa, John Blenkinsop, construyó una locomotora tecnológicamente más avanzada y dotada de un mecanismo de locomoción de dos cilindros. Este vehículo rodaba por dos raíles, pero necesitaba de un tercero sobre el cual engranaba una gran rueda dentada conectada con el mecanismo de locomoción. Sin embargo, después de algún tiempo, se constató que el tercer raíl sólo era necesario en las empinadas pendientes que exigían una tracción más eficaz.

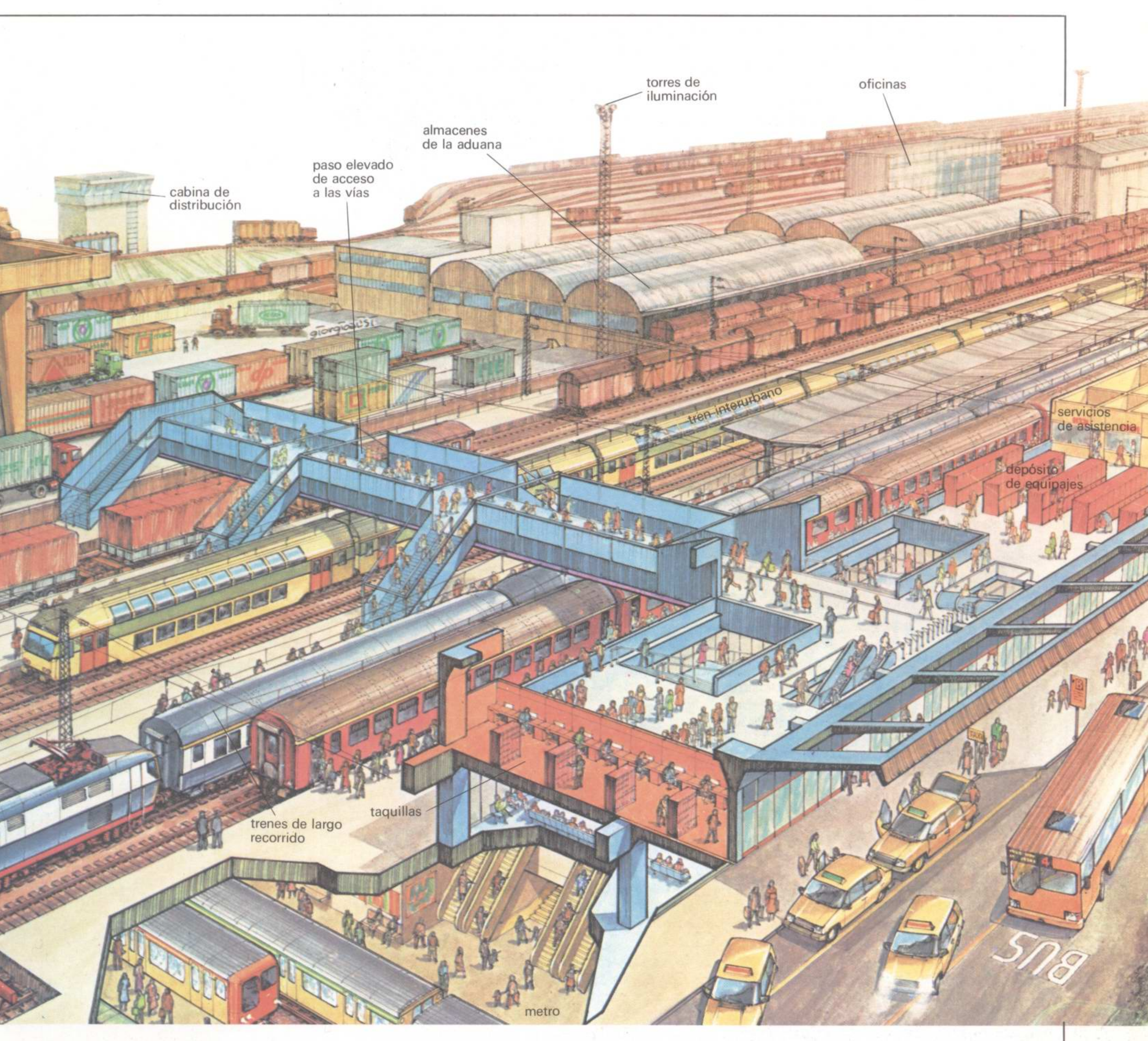
En 1829 el también ingeniero inglés George Stephenson construyó su locomotora *Rocket* (*El Cohete*), de 5 toneladas de peso, que podía viajar a una velocidad máxima de 50 km/hora. La *Rocket* fue una




Para coordinar el tráfico ferroviario de una gran estación se instalan complejos aparatos que, bajo la guía de un cerebro electrónico manejado por personal especializado, permiten mantener bajo control todo el tráfico. En las fotos, una instalación automática del importante nudo ferroviario de Génova.







Sobre estas líneas vemos la reconstrucción de una moderna estación ferroviaria. Para ofrecer una imagen conjunta de los diferentes aspectos de una estación, han sido reunidos en el dibujo tanto el espacio reservado para los pasajeros como el destinado a mercancías, que generalmente están físicamente separados. En la zona de pasajeros pueden apreciarse las taquillas, los accesos a otros medios de transporte, los pasos elevados entre andenes y los servicios de asistencia; en la zona de mercancías vemos las grúas para el movimiento de los contenedores, los almacenes de la aduana y la cabina de distribución. Se observan, además, la cabina de control de tráfico y las oficinas.

de las primeras locomotoras de vapor suficientemente eficaz, a la que siguieron otras máquinas similares que fueron empleadas durante más de un siglo. En el año 1941, la compañía norteamericana Union Pacific Railroad construyó la mayor locomotora de vapor que se haya fabricado, la *Big Boy*. Dicha locomotora pesaba casi 600 toneladas, podía viajar a una velocidad de 120 km/h y disponía de una potencia de 6.000 CV. Después de la II Guerra Mundial, en muchas compañías de ferrocarriles, sobre todo en Europa, se adoptó la tracción eléctrica, mientras que en otras líneas se empezaron a utilizar las locomotoras de motor Diesel sustituyendo a las gloriosas máquinas de vapor.

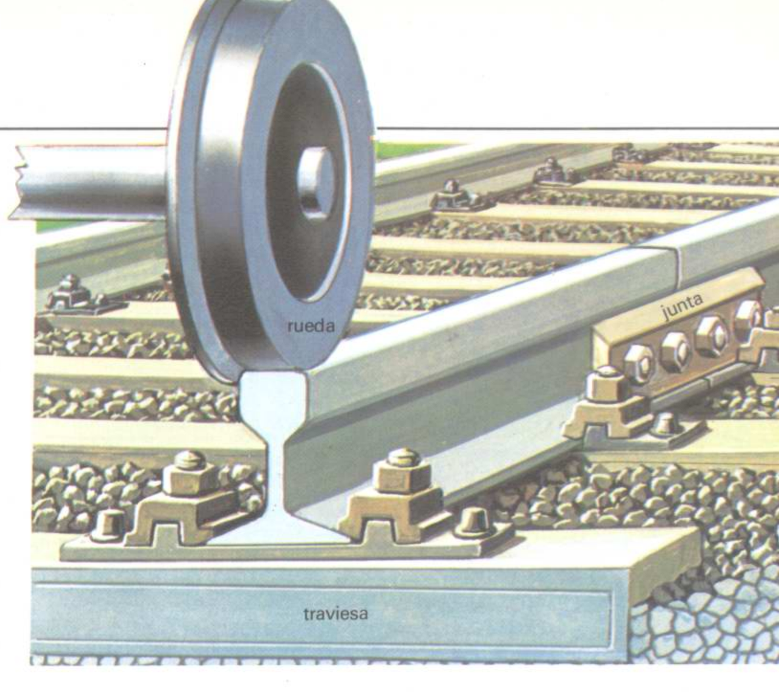
Locomotoras eléctricas y locomotoras Diesel-eléctricas Las locomotoras eléctricas reciben la energía necesaria de unas líneas eléctricas específicas o bien de un tercer raíl en posición elevada.

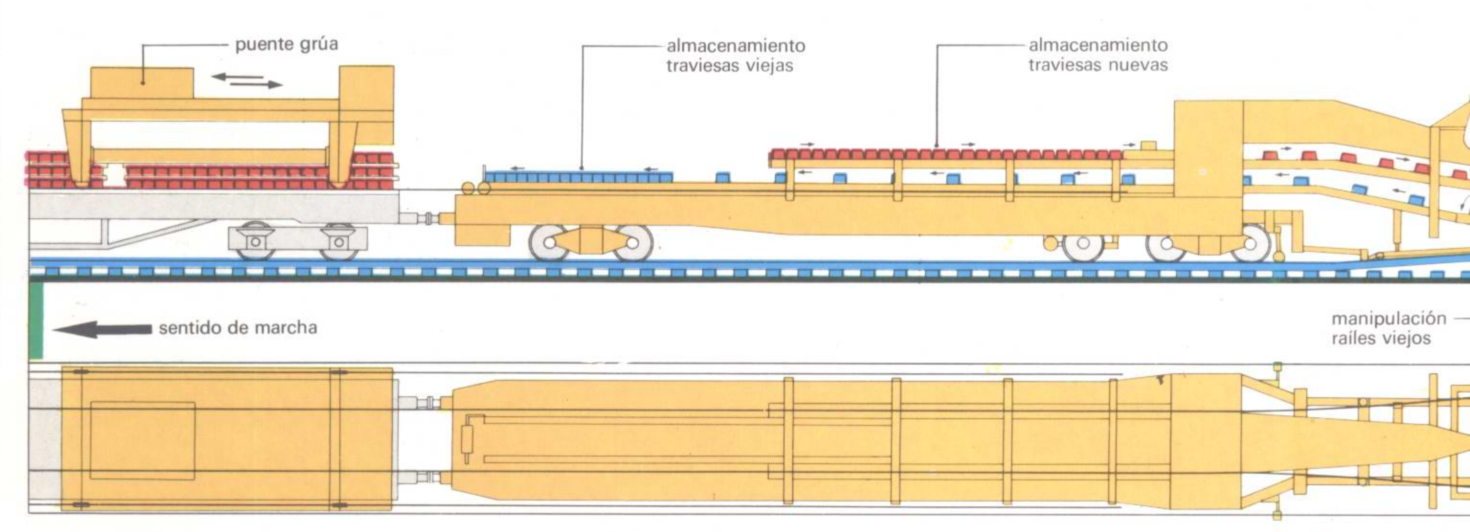
En la actualidad no todos los países poseen líneas ferroviarias totalmente electrificadas. En los Estados Unidos sólo están electrificadas algunas líneas locales, además de todas las redes ferroviarias subterráneas, en donde el empleo de la energía eléctrica evita la producción de humos, de difícil eliminación.

El motor Diesel fue patentado en el año 1892, pero sólo después de 1920 fue utilizado con éxito en la tracción ferroviaria. La locomotora Diesel está compuesta de

tres partes principales: el motor Diesel, un generador eléctrico y un motor eléctrico. En el motor Diesel se inyecta gasóleo en una cámara de combustión previamente llenada de aire fuertemente comprimido por el desplazamiento de los émbolos en los cilindros. La explosión de la mezcla gasóleo-aire, debida al calor de la compresión, empuja dichos émbolos suministrando la energía mecánica necesaria para mover un generador de energía eléctrica. Un motor eléctrico se sirve de dicha energía para la tracción. Este tipo de locomotora es fundamentalmente una locomotora eléctrica que produce por sí misma la corriente eléctrica que consume, en lugar de recibirla de una línea eléctrica alimentada por otro medio externo. Fue al inicio de los años treinta cuando un pequeño tren Diesel-eléctrico empezó a recorrer el tramo Hamburgo-Berlín a una velocidad media de 125 km/hora. El gran éxito del motor Diesel es debido a su mayor rendimiento, alrededor de cuatro veces mayor que el de la máquina de vapor.

A la derecha, el esquema de una vía férrea: las traviesas, separadas entre sí de 40 a 50 centímetros, están apoyadas sobre el empedrado constituido por grava. Sirven para fijar los raíles de acero compuestos por tramos de longitud variable y unidos por juntas. En el esquema central vemos un tren especial para la sustitución de raíles y traviesas, que permite el cambio automático de 800 traviesas por hora. Una grúa permite levantar y montar las nuevas traviesas sobre una cadena de distribución y colocar las viejas sobre otra cadena.





Raíles Durante el primer período de construcción de los ferrocarriles, entre los años 1830 y 1850, se emplearon distintos tipos de raíles. Las primeras vías férreas construidas con raíles de fundición fueron seguidamente sustituidas por otras de raíles de hierro laminado. A partir de los años 1850-1860 empezaron a construirse raíles de acero, continuos, soldados entre sí y colocados sobre un empedrado.

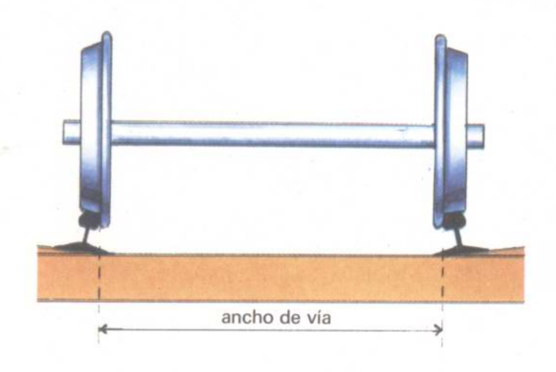
Los anchos de vía (distancia entre los raíles) de los ferrocarriles de todo el mundo varían de 1,68 m hasta menos de 0,60 metros. Los anchos de vía mayores permiten una mejor estabilidad de los trenes, sin embargo los ferrocarriles de vía estrecha son de construcción más económica y mantenimiento más sencillo. El ancho de vía español es de 1,674 m, pero el internacional, de casi todos los demás países de Europa y Norteamérica, es de 1,435 metros.

Al principio se solía colocar debajo de los raíles unos bloques de piedra que los sostenían. En estos bloques se hacían unos agujeros en los cuales se colocaban unos tacos de madera para poder sujetar los clavos que fijaban el raíl. Sin embargo, durante la construcción de un ferrocarril en los Estados Unidos se terminó la reserva de bloques de piedra y se decidió utilizar unas traviesas de madera. Fue entonces cuando se descubrió que de esta forma, gracias a la flexibilidad y a las características de absorción de las vibraciones que posee la madera, los trenes pasaban con mayor suavidad. Las traviesas de madera resultaron también bastante duraderas y fueron adoptadas universalmente. Recientemente las compañías ferroviarias las están sustituyendo por otras de hormigón armado postensado.

Sistemas de enganche y frenos Los primeros sistemas de enganche, mecanismos utilizados para unir entre sí los vagones, estaban constituidos simplemente por cadenas o ganchos con topes provis-



En el esquema inferior se indica el ancho de vía, es decir, la distancia entre los dos raíles medida en su interior. El ancho de la vía internacional es de 1,435 m, aunque en España es de 1,674 m. Hoy existen alrededor de treinta sistemas, que van desde un ancho de 0,60 m en los ferrocarriles indios hasta 1,676 m en los australianos.

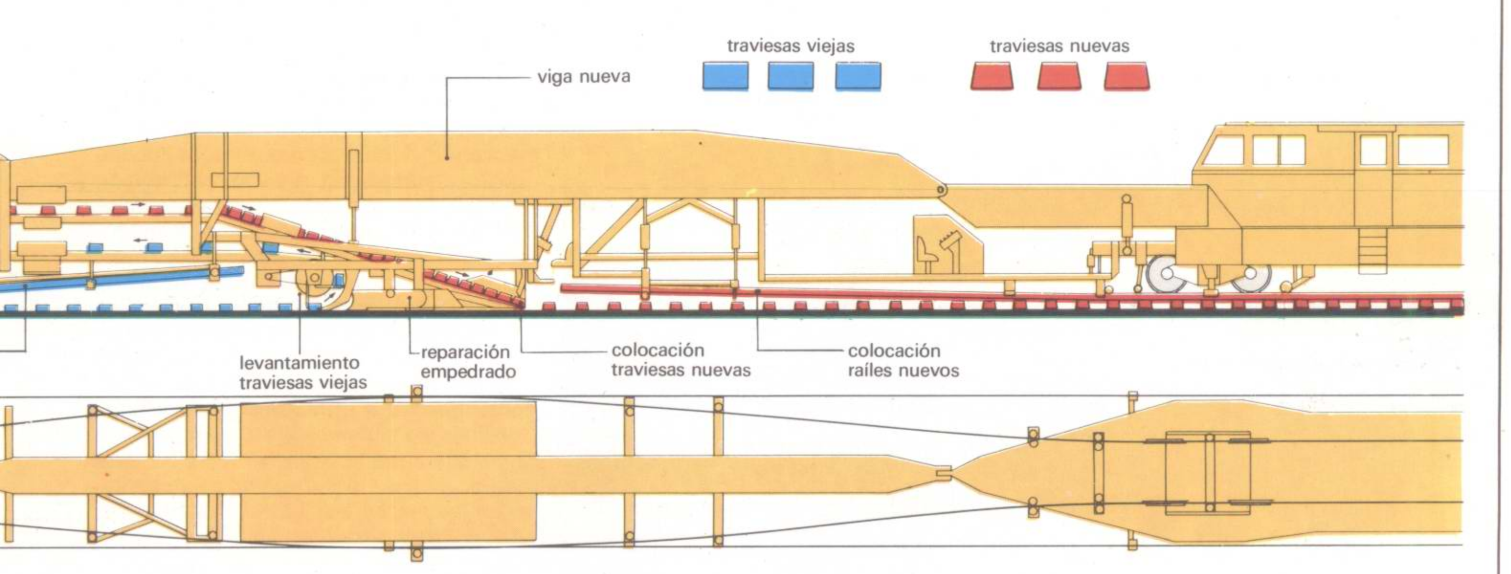


nos al último vagón, que de esta forma contribuía a "ralentizar" el convoy. Dichos trenes estaban también dotados de frenos de mano, que eran accionados en cuanto empezaba una cuesta abajo.

En 1869, George Westinghouse ideó el sistema de frenado de aire comprimido, que podía ser instalado en todos los vagones y accionado desde la locomotora. En este sistema las tuberías del freno están llenas de aire comprimido. Al accionar el freno, el aire de la tubería principal se escapa. Entonces los depósitos auxiliares, aún llenos de aire comprimido, se conectan automáticamente con los cilindros del freno, y sus émbolos se desplazan adelante, forzando a las zapatas de frenado contra las ruedas de los vagones. El freno neumático inventado por Westinghouse es el sistema más usado en los ferrocarriles actuales.

un tren es detectada por una corriente eléctrica que pasa de un raíl a otro a través de las ruedas y los ejes. El maquinista de la locomotora es informado, mediante un sistema de luces de distinto color, sobre la prohibición o permiso de tránsito por la sección de bloqueo.

Ferrocarriles actuales El tráfico de mercancías por ferrocarril ha experimentado notables avances técnicos en los últimos años. Los materiales a granel, incluido el cemento, pueden ser cargados y descargados por medios neumáticos, usando cualquier tipo de vagón o contenedor. El tamaño de los contenedores está estandarizado por la International Standard Organization. Los trenes de contenedores utilizan plataformas con frenos de disco accionados por aire comprimido. El transporte de automóviles se realiza en



tos de muelles para amortiguar los golpes. A mediados del siglo XIX se utilizó en los Estados Unidos un nuevo mecanismo de enganche, que requería, en el momento de encuentro de los dos vagones, la introducción de un pasador en el sistema de acoplamiento. Este sistema no resultó muy seguro, por lo que en 1882 los ferrocarriles norteamericanos comenzaron a utilizar un sistema que consiste en una pareja de mordazas de cierre automático. Estos sistemas de enganche y desenganche automáticos se han ido perfeccionando hasta los actuales, de los que algunos incluyen las conexiones para frenos, controles eléctricos y calefacción.

Cuando se quiere disminuir la velocidad de un tren, es necesario efectuar el frenado no solamente en la locomotora, sino en muchos de los vagones que la siguen. Algunos de los primeros sistemas de frenado necesitaban de la asistencia de empleados que corrían de un coche a otro para accionar los frenos individuales de cada vagón. En Europa, sin embargo, se prefirió frenar los trenes dotando de fre-

Señalizaciones Con el fin de prevenir la posibilidad de accidentes, ya desde el inicio de los ferrocarriles se idearon unos sistemas de información y prevención para el personal de los trenes. Las primeras señales, constituidas por banderitas y linternas, daban simplemente la indicación de parada o de vía libre. Al principio la utilización de dichas señales se basaba en el intervalo de tiempo entre un tren y el siguiente (separación en tiempo), pero pronto se pusieron de manifiesto los defectos de tal sistema y se adoptó como principio de seguridad el intervalo de espacio entre los trenes (o sistemas de bloqueo), que consistía en no permitir la entrada de un convoy en una determinada sección de la línea (sección de bloque) si no había llegado antes telegráficamente al comienzo del tramo la correspondiente información —remitida desde un señalador situado al final de dicho tramo— de que el tren anterior ya había abandonado la sección. Actualmente, en la mayoría de los ferrocarriles ha sido instalado el circuito de vía, mediante el cual la presencia de

vagones de dos plataformas. Los productos criogénicos (a muy baja temperatura) son también transportados por ferrocarril en vagones aislados de gran capacidad. En el transporte de pasajeros, y dada la gran competencia existente por parte de otros medios, la tendencia actual consiste en el establecimiento de servicios rápidos y frecuentes entre ciudades importantes. Ello se consigue a base de trenes que pueden operar a velocidades de incluso 160 km/h con intervalos de 30 minutos. Se están realizando pruebas con trenes Diesel de gran velocidad capaces de desarrollar 230 km/hora. El APT (tren de pasajeros avanzado) será capaz de alcanzar 240 km/hora, podrá ir equipado con motores eléctricos o con turbinas de gas, y, lo que es muy importante, podrá utilizar la red existente, ya que su diseño de suspensión basculante le permite inclinarse para contrarrestar la fuerza centrífuga al tomar curvas relativamente cerradas.

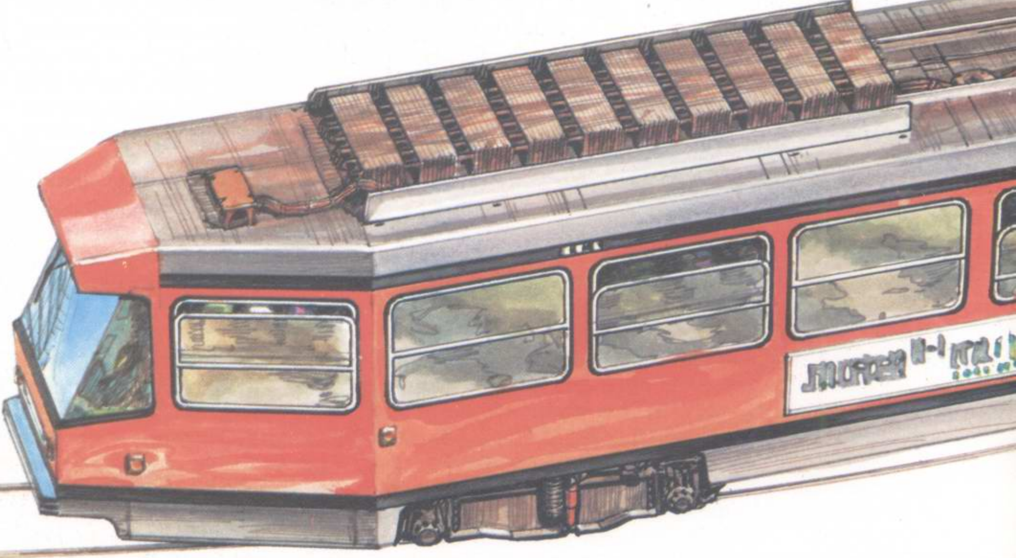
Véase **Ferrocarril metropolitano y tranvía; Locomotora**

Ferrocarril metropolitano y tranvía

El tranvía y el metro son dos formas de transporte colectivo introducidas en las ciudades europeas y americanas hacia finales del siglo XIX. El desarrollo del tranvía eléctrico y del metro, o ferrocarril subterráneo, fueron una respuesta parcial al gran desarrollo de las ciudades después de la Revolución Industrial. La motorización masiva hizo ineficaces las grandes vías de comunicación urbanas y las congestionó peligrosamente con pequeños vehículos, como las bicicletas y los automóviles; al mismo tiempo permitió a la gente vivir más alejada del lugar de trabajo, adonde ya no podía llegar a pie. Así la ciudad se desarrolló fuera de sus antiguos límites. El precursor del tranvía moderno fue evidentemente el tranvía de caballos, en el cual un caballo tiraba del vehículo de pasajeros a lo largo de los raíles de la vía. El tranvía de caballos se difundió ampliamente en las ciudades europeas y americanas hacia la mitad del siglo pasado. Sin embargo, este medio de transporte resultaba muy caro: su principal coste era debido precisamente al mantenimiento y reposición de los caballos. La mayor parte de estos animales tiraba de los coches alrededor de 24 km diarios, por lo que eran aptos para el trabajo sólo durante 4 ó 5 años. Enfermedades, como la gran epizootia que en el año 1872 mató en los Estados Unidos a miles de caballos, eliminaron del servicio muchas líneas. Además, los excrementos de los caballos, que debían ser retirados de las calles dos veces al día, creaban un serio problema sanitario en las ciudades superpobladas. El tranvía eléctrico, después de su entrada en servicio, demostró ser más veloz, más económico y más higiénico que el tranvía de caballos.



Coches de cables y tranvías Desde 1834 la electricidad, proporcionada por baterías, fue empleada como fuente de energía para el transporte urbano. Sin embargo, el coste de producción de las baterías y la necesidad de recargarlas frecuentemente las convirtió en una ineficaz alternativa al caballo. Hacia finales del siglo XIX en muchas ciudades americanas se utilizaron coches de cables movidos por energía de vapor. Los coches de cables rodaban sobre raíles y eran arrastrados mediante un cable, continuamente en movimiento, situado debajo de la superficie de la calle. Una central eléctrica principal, accionada por máquinas de vapor, tiraba de los cables a lo largo de los distintos recorridos. La primera línea de cable fue construida por un especialista en la materia, Andrew-Hallidie, en la empinada Clay Street de San Francisco. En el año 1890 muchas ciudades de los Estados Unidos, incluidas San Francisco y Chicago, disponían de líneas de largo recorrido con coches de cables. El cable resultaba más eficaz cuando estaba instalado debajo de las largas y rectas calles de las ciudades americanas que en los tortuosos paseos europeos. La invención de la dinamo o generador de corriente suministró a partir de 1870 energía eléctrica más barata con respecto a la de las baterías. La energía eléctrica producida por una dinamo podía ser transmitida a lo largo del recorrido de los raíles poniendo en funcionamiento los motores eléctricos de los tranvías. En Berlín, en el año 1881, Werner von Siemens, uno de los científicos que se ocupó del desarrollo de la dinamo, construyó una línea de tranvías eléctricos de 2,5 km de largo. Funcionaba conectando una de las vías al polo positivo y la otra al polo negativo del generador. De esta forma la corriente se transmitía al motor del coche. El tranvía marchaba bien, pero los peatones y los caballos que tocaban ambos raíles al mismo tiempo estaban expuestos a recibir una descarga eléctrica potencialmente mortal. La descarga habría sido más fuerte en las líneas de mayor longitud, que necesitaban más corriente para superar el efecto de la resistencia eléctrica del raíl. Entonces el sistema de transmisión de la corriente eléctrica por los raíles fue sustituido por una línea de alimentación aérea. Charles van Depoele, un fabricante de muebles belga instalado en Detroit, perfeccionó el asta de toma de corriente *(trolley)* montando en su extremidad una rueda de contacto que rodaba debajo del cable de alimentación, dotándola de un fuerte muelle que la mantenía en posición. En el año 1886 van Depoele instaló un tranvía eléctrico con el sistema de *trolley* en Montgomery, Alabama. En los años 1890 y el inicio del 1900 los tranvías eléctricos sustituyeron a la mayor parte de los de caballos y a muchas líneas de tranvías de cables en las ciudades de todo el mundo. Seguidamente se perfeccionó el tranvía, creando el *trolebús* a principios de este siglo. Consistía en un vehículo con ruedas de goma que circulaba por las rutas urbanas movido por un motor eléctrico alimentado por cables aéreos. Los tranvías son aún muy utilizados en Alemania, Austria, Suiza, Escandinavia, Holanda, Europa Oriental y en parte de Canadá y Suramérica. Sin embargo, en otras grandes ciudades de Europa y América los tranvías han sido sustituidos por autobuses de gasóleo y por extensas líneas de metro.





Metro Las líneas del ferrocarril metropolitano empezaron a desarrollarse contemporáneamente a los tranvías. El metro está constituido por una red de trenes eléctricos que corren principalmente por túneles subterráneos. La ventaja del metro para el transporte urbano reside en que no interfiere en el resto del transporte, ni el tráfico de la ciudad disminuye su velocidad. Debido a su alto coste de construcción, este medio de transporte se justifica sólo en ciudades con gran densidad de población en las cuales la circulación urbana presenta graves problemas de congestión. En muchas áreas urbanas, las líneas de metro son subterráneas en las zonas céntricas y salen al exterior en las zonas periféricas. La razón de esto es que resulta más caro excavar galerías subterráneas que construir líneas en superficie.

Las modernas líneas de metro, así como las de tranvía, son eléctricas, y en muchos casos reciben la corriente por un tercer raíl lateral en vez de por una línea de alimentación aérea. Sin embargo, en la primera línea de metro inaugurada en Londres en 1863 los vagones eran arrastrados por una locomotora de vapor que quemaba coque y carbón. La gente viajaba soportando los humos de azufre producidos por el motor. Poco después empezaron en Londres las excavaciones para una segunda línea de metro, arrastrada por cable. Cuando en 1890 se terminó la línea, la energía eléctrica sustituyó al cable. En los años 1890 se inició también la construcción de líneas metropolitanas en Budapest, París y Boston. La ciudad de Nueva York, que actualmente posee la red de metro más extensa del mundo, inauguró su primera línea a principios del año 1900.

En la página anterior, tranvía de caballos, un medio de transporte urbano muy difundido en las ciudades europeas y americanas hacia mediados del siglo pasado. El ferrocarril metropolitano (arriba) representa actualmente el más importante sistema de transporte de pasajeros independiente del resto de la circulación urbana. El tranvía de superficie es aún hoy un medio de transporte urbano muy difundido en muchas ciudades. Abajo vemos un "tranvía jumbo".

A la derecha, monorraíl suspendido, en Tokio. El sistema utilizado actualmente es el Alweg: las ruedas que sostienen el vehículo corren por la cara superior del raíl, mientras que las de guía y de equilibrio de marcha corren por las caras laterales.

Fertilizantes

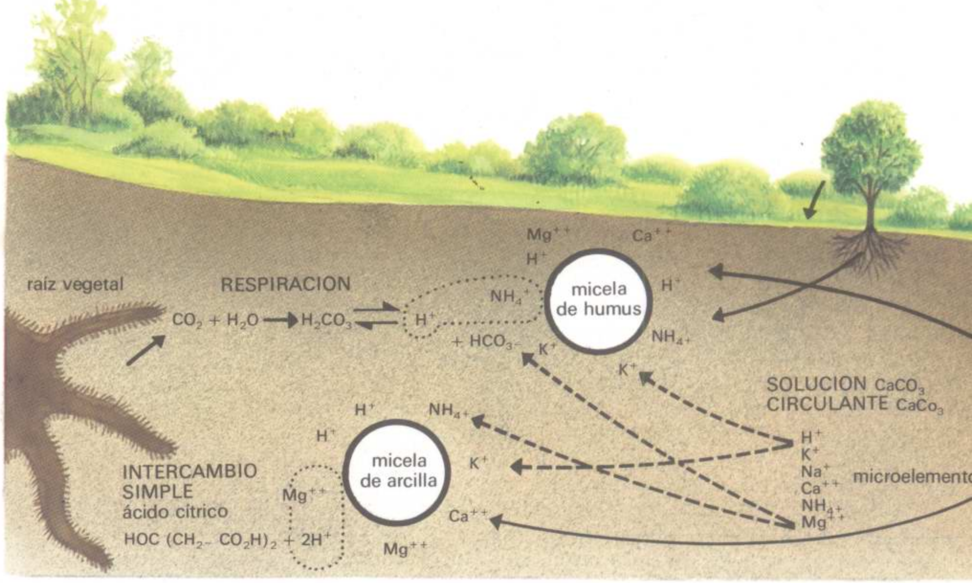
Los fertilizantes se aplican al suelo, y a veces directamente a la planta, para proporcionar los nutrientes que posibilitan el desarrollo vegetal. El fertilizante reemplaza los nutrientes naturales a medida que van siendo consumidos por las plantas, o se aplica a los suelos pobres en minerales para corregir esa deficiencia. Muchos elementos químicos nutrientes, tales como el cobre, boro, manganeso, cinc y silicio, sólo se requieren en cantidades minúsculas; en cambio, otros son mucho más importantes, y los vegetales los necesitan en cantidades abundantes. Estos nutrientes principales son: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, hierro y azufre, todos los cuales son rápidamente extraídos del suelo por las plantas, sobre todo en las condiciones propias de los cultivos intensivos. La mayoría de los fertilizantes están destinados a reemplazar estos importantes elementos nutrientes.

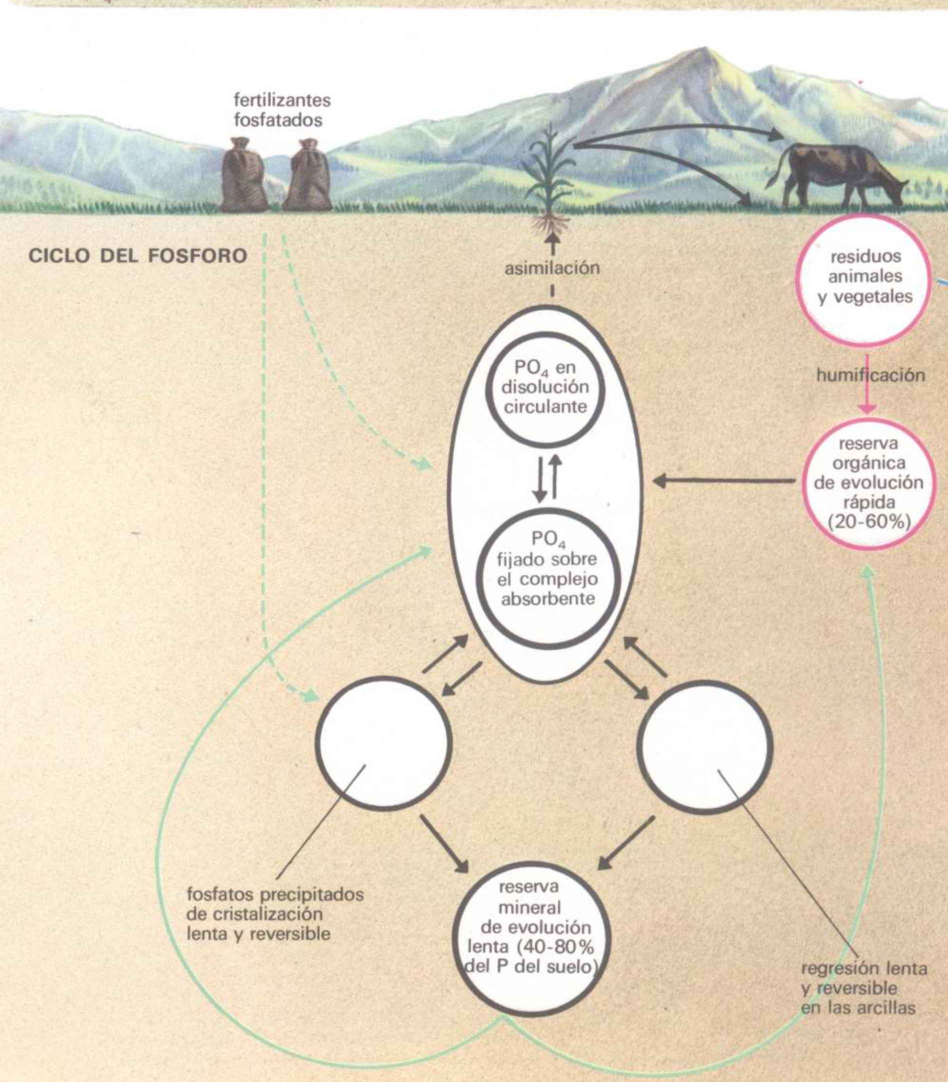
Abonos naturales Básicamente, los fertilizantes son mezclas artificiales de sustancias sintéticas o que ya existen en la Naturaleza. En cambio, los abonos naturales están constituidos por materia orgánica, como, por ejemplo, excremento de animales y diversos tipos de materia vegetal. A menudo poseen la propiedad adicional de mejorar la textura del terreno, así como sus propiedades de retención del agua. Las algas marinas se utilizan para este propósito, e incluso para ayudar a romper los terrenos compuestos por arcillas duras.

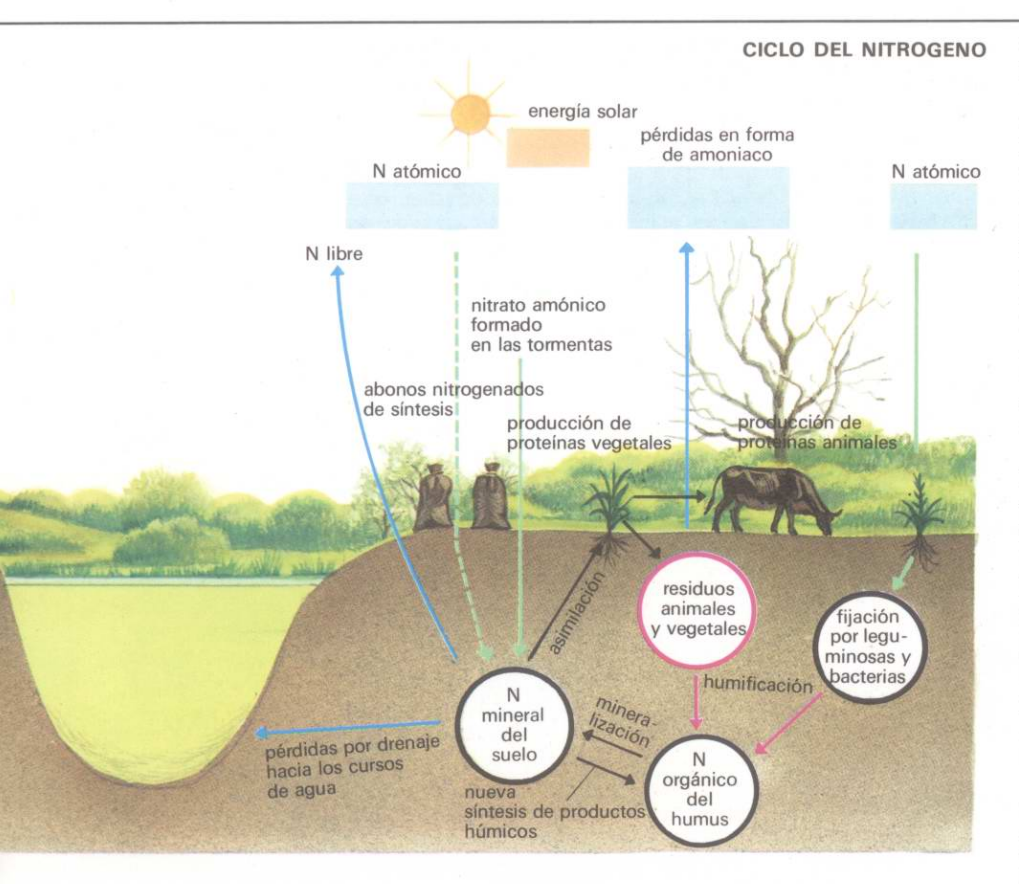
El estiércol contiene una elevada proporción de nitrógeno, esencial para el crecimiento de las plantas. Generalmente, el nitrógeno atmosférico se "fija" y está a disposición de los vegetales gracias a ciertas bacterias presentes en el suelo o, a veces, en unos nódulos de las raíces de las leguminosas. Los vegetales sólo pueden utilizar el nitrógeno después de que éste se haya incorporado a un compuesto químico. La mayor parte de los abonos naturales se produce en el estercolero, según un proceso ideado para fomentar la acción de descomposición y fermentación forménica de los excrementos animales y restos vegetales, por acción de las bacterias, llegándose a un producto fácilmente utilizable por las plantas; este proceso es el que hace que los abonos naturales presenten un elevado contenido de nitrógeno.

Las técnicas ganaderas modernas producen enormes cantidades de materias residuales, en su mayor parte en forma de estiércol semilíquido de ganado y excrementos de aves; el problema que representa eliminar todo este material sin contaminar el ambiente circundante ha despertado de nuevo el interés por la producción en gran escala de abonos naturales. Los desechos de las actividades ganaderas intensivas se almacenan en estanques o lagunas artificiales y se deja que las materias sólidas desciendan al fondo, a la vez que sobre ellas actúan las bacterias para desintegrar la materia orgánica. Este pro-

En el esquema bajo estas líneas, mecanismo de absorción catiónica de una planta, a través de las raíces. Este mecanismo se basa en la presencia de agua en el suelo; los iones están en disolución. Algunos de los micronutrientes son absorbidos en forma de aniones; en el caso de la absorción catiónica es preciso extraer los iones del suelo. En él existen dos posibles localizaciones de los iones. Una de ellas es la de las micelas de arcilla, que tienden a fijar los iones en pequeñas celdas formadas por la compleja estructura laminar y en celdillas de los silicatos intercambiadores de iones típicos de este mineral. La otra es la de las micelas de humus, que tienen tendencia a retener iones mediante un mecanismo análogo al de la absorción de sustancias en el carbón activo.







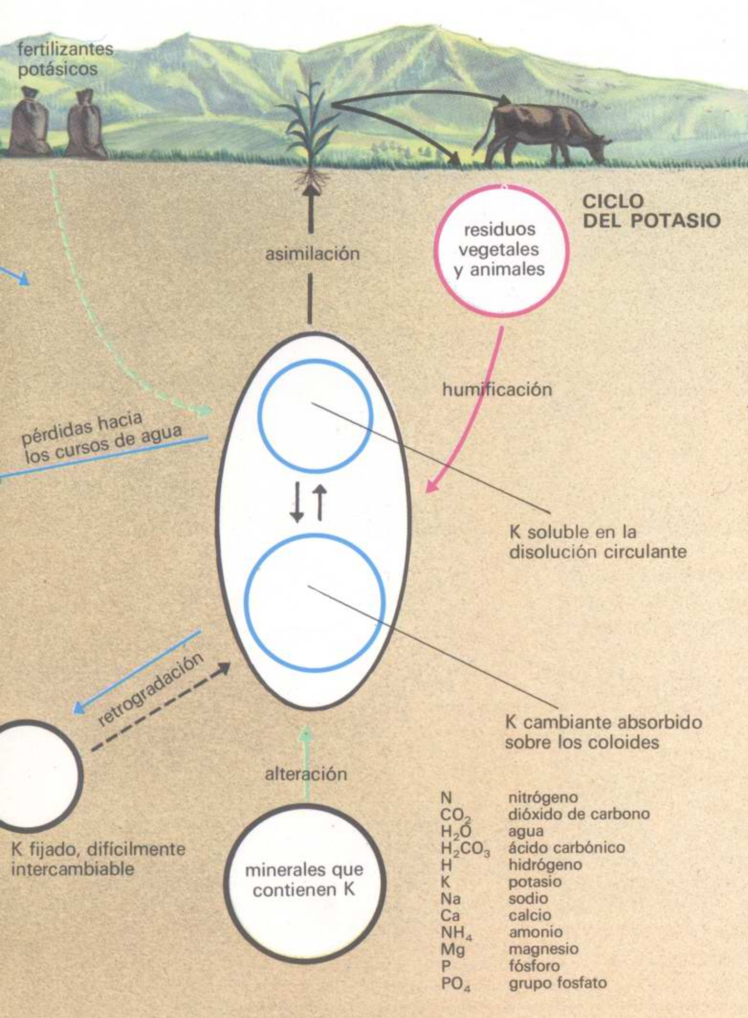
ducto sólido, rico en nitrógeno, se puede luego utilizar como abono natural para la agricultura. Los lodos que quedan tras la depuración de las aguas residuales también se utilizan como abonos cuando no contienen metales pesados, y son sustancias particularmente apreciadas para cultivos hortícolas. De esta manera es posible aprovechar una amplia variedad de productos residuales de tipo animal y vegetal. A veces, incluso se siembran ciertas plantas —especialmente leguminosas— destinadas a devolverlas a la tierra directamente, sin recogerlas, para que se reintegren como abono natural, enriqueciéndola con el nitrógeno que han fijado.

Los abonos contienen cantidades variables de nitrógeno, aunque pueden ser deficitarios en otros elementos nutrientes fundamentales. Puesto que un aporte adecuado de nitrógeno es importante para estimular el desarrollo de las hojas, los abonos del tipo del estiércol han sido sustituidos en gran medida en los cultivos agrícolas a gran escala por los abonos artificiales, los fertilizantes, ya que éstos permiten controlar las cantidades en que los distintos elementos se adicionan al suelo.

Fertilizantes El sulfato amónico, $(NH_4)_2SO_4$, y el nitrato amónico, NH_4NO_3, son ferlizantes nitrogenados típicos. Se preparan en grandes cantidades a relativo bajo costo y no presentan problemas de almacenamiento ni de aplicación a las cosechas, en contraste con los abonos naturales. El nitrato amónico se produce por reacción del gas amoniaco con ácido nítrico. El sulfato amónico se fabrica por reacción del gas amoniaco con ácido sulfúrico o haciendo reaccionar el sulfato cálcico con una disolución de carbono amónico.

El fósforo es otro de los elementos fundamentales, pero suele estar presente en el suelo en cantidades insuficientes. Puede aportarse en forma de polvo óseo, es decir, el polvo que queda después de triturar y moler huesos de animales, de los que se han extraído previamente otros compuestos químicos valiosos. En la actualidad, el fósforo para abono se aplica por lo general en forma de superfosfato o superfosfato enriquecido. El primero se obtiene tratando con ácido sulfúrico los fosfatos rocosos que se dan en la Naturaleza, obteniendo así un producto que contiene aproximadamente un 20% de fósforo. Tratando el fosfato natural con ácido fosfórico se obtiene el fosfato enriquecido, que puede contener hasta un 40% de fósforo soluble. La escoria básica, subproducto de la fabricación del acero, es otra fuente de fósforo. Este elemento es particularmente importante para lograr un buen desarrollo de las raíces de las plantas y para acelerar su rápido crecimiento y maduración.

El potasio es necesario para impulsar el desarrollo vegetal y mejorar la resistencia a las enfermedades. Se suele obtener del sulfato potásico, K_2SO_4, y del cloruro potásido, KCl, ambos productos naturales.

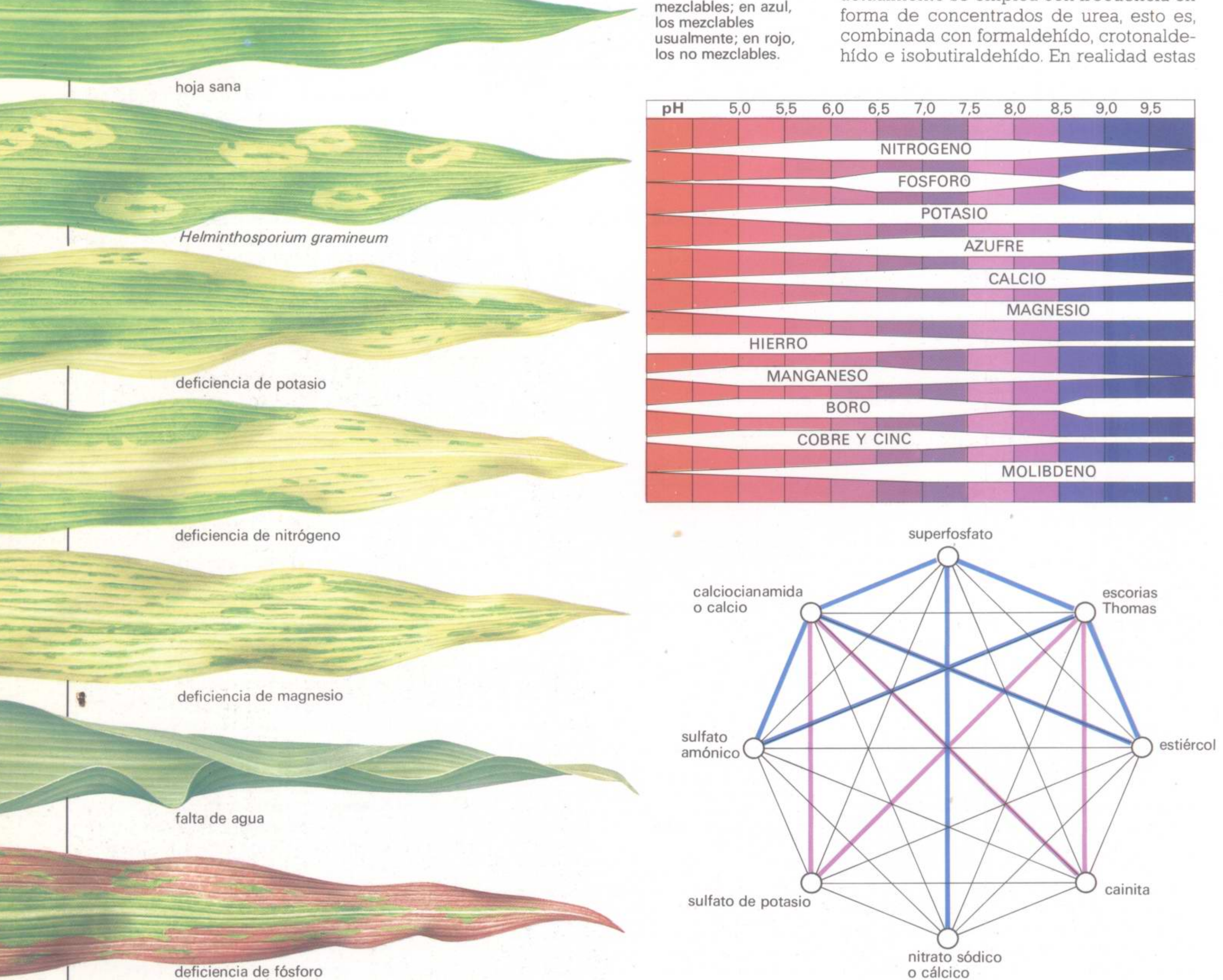


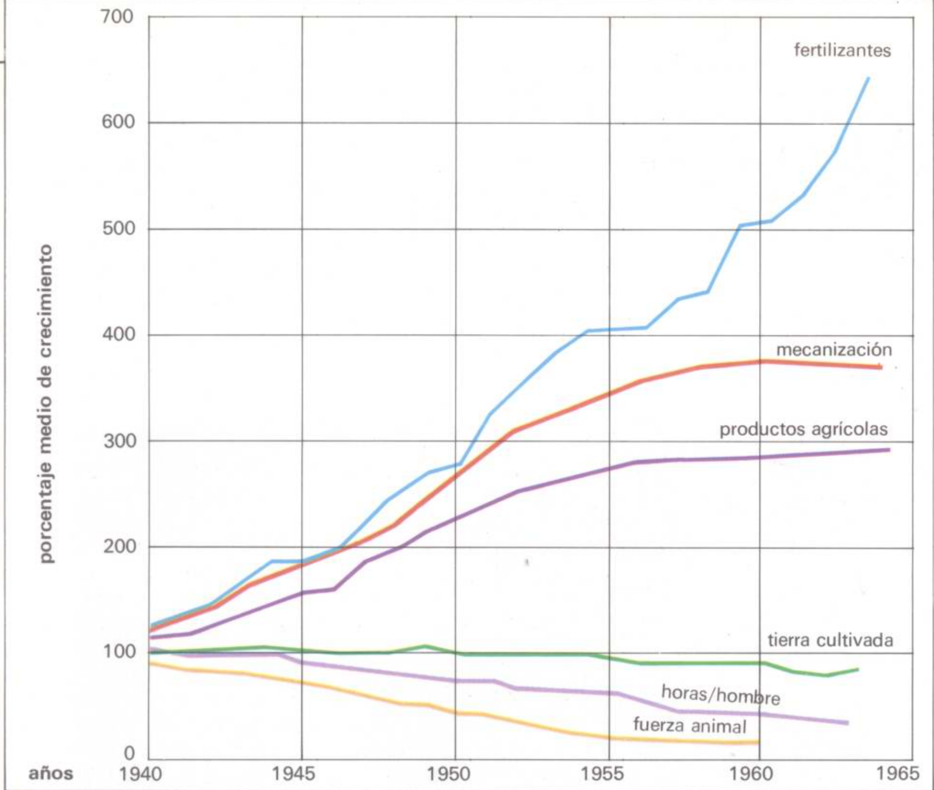
Junto a estas líneas, esquemas de los ciclos del fósforo y del potasio, elementos de importancia primordial en el campo vegetal y de capital interés por su papel enriquecedor del suelo cuando se utilizan en forma de fertilizantes. Estos esquemas demuestran que no es suficiente con que el fósforo y el potasio estén presentes en el terreno para que puedan ser asimilados por las plantas a través de sus sistemas radicales. Ya en el mecanismo de absorción catiónica se observa que las micelas del terreno ceden el ion sólo a cambio de un ion hidrógeno. Este ion hidrógeno procede de la respiración de las raíces; en el caso de los iones potasio y fósforo, éstos son fácilmente absorbibles por las raíces, aunque el grado de absorción depende en gran medida de otros iones inertes presentes en el terreno, como los del hierro y el aluminio.

Utilización por las plantas de los fertilizantes Los fertilizantes y abonos son utilizados por las plantas en proporciones diferentes. Además, éstas no pueden aprovechar los abonos naturales hasta que no se ha producido la descomposición de los mismos y se hallan en forma de productos químicos solubles, capaces de ser absorbidos por las raíces. Algunos fertilizantes líquidos, como los utilizados en horticultura, sólo contienen nutrientes solubles, que son rápidamente absorbidos y aprovechados por las plantas. Los alimentos foliares se aplican directamente a las hojas en vez de distribuirlos por el suelo, y son absorbidos a través de los estomas: un 90% de los nutrientes foliares es absorbido y aprovechado directamente por las plantas. A veces, los alimentos foliares también llevan otras sustancias, tales como estimulantes del crecimiento o elementos en trazas, es decir, en minúsculas cantidades, que son fácilmente absorbibles a través de la tierra. Aunque bastante costosos, son de particular utilidad en horticultura.

Normalmente conviene aplicar los fertilizantes en forma de preparados de acción lenta para evitar la necesidad de repetir con frecuencia la operación de abonado. Como el estiércol, la mayoría de los fertilizantes orgánicos que contienen nitrógeno se descomponen lentamente en la tierra y están a disposición de las plantas a lo largo de un amplio período de tiempo. El polvo de astas y de pezuñas de animales es un fertilizante natural que libera lentamente el nitrógeno; también la urea, $CO(NH_2)_2$, es una fuente sintética de nitrógeno de lenta descomposición, y actualmente se emplea con frecuencia en forma de concentrados de urea, esto es, combinada con formaldehído, crotonaldehído e isobutiraldehído. En realidad estas

Abajo, la secuencia de dibujos de hojas de maíz muestra, por las manchas de color y por el aspecto, las deficiencias de minerales (o de agua), que provocan un crecimiento insuficiente de la planta y una escasa productividad. Es de notar que la carencia de elementos minerales en forma iónica puede dar lugar a daños más graves que los producidos por una sequía. La segunda hoja en la parte superior muestra el ataque de un hongo parásito que se produce cuando la planta está deficientemente nutrida.
En el centro, la tabla muestra, indicándolo por la anchura de la banda clara horizontal, la posibilidad de ser asimilados los distintos iones por parte de las plantas en función del pH del terreno. Existen todos los tipos de comportamiento: el hierro se asimila más fácilmente con un pH bajo, el molibdeno con pH alto; otros iones, como el potasio, se asimilan bien con pH cercanos al neutro, pero también con pH altos. Por lo tanto, la adición de fertilizantes a un terreno pobre debe hacerse teniendo en cuenta su pH. Si es necesario no alterar demasiado el contenido iónico del suelo, hay que corregir previamente su pH. Abajo, diagrama que muestra cómo los diversos abonos sintéticos no son todos compatibles. Se consideran ocho abonos en los vértices de este octógono.
En negro, lados y diagonales que unen abonos completamente mezclables; en azul, los mezclables usualmente; en rojo, los no mezclables.





más o menos profundos—, enterrados al mismo tiempo que las semillas, o distribuidos entre los surcos de los cultivos mediante dispositivos adecuados incorporados a las sembradoras mecánicas.

Actualmente, los fertilizantes existentes en el mercado tienen tres formas de presentación: granular, líquida y en suspensión. Los fertilizantes granulares son muy eficaces y fáciles de controlar, mientras que los líquidos dan mayores problemas de dosificación, ya que el agua empleada para disolverlos disminuye su eficacia. Los fertilizantes en suspensión, obtenidos por adición de una pequeña cantidad de agua y arcilla al producto fertilizante, están adquiriendo una popularidad creciente gracias a su alto valor nutritivo.

Véase **Agricultura; Amoniaco; Nitrógeno**

sustancias son resinas (plásticos) inestables que se descomponen en el suelo, y liberan la urea.

Aplicación al suelo y a las plantas Los fertilizantes suelen presentarse comercialmente en forma de gránulos o bolas, lo que permite suministrar una mezcla equilibrada de los nutrientes esenciales. Esos gránulos o bolas se preparan de manera que se descomponen a una velocidad predeterminada para proporcionar un suministro continuo de nutrientes a las plantas en crecimiento. Generalmente todos los cultivos necesitan diferentes nutrientes en etapas distintas de su ciclo de crecimiento, de modo que las aplicaciones de fertilizantes deben distribuirse cuidadosamente en el tiempo para lograr un equilibrio correcto de los nutrientes en el momento en que éstos son más necesarios para el éxito de la cosecha.

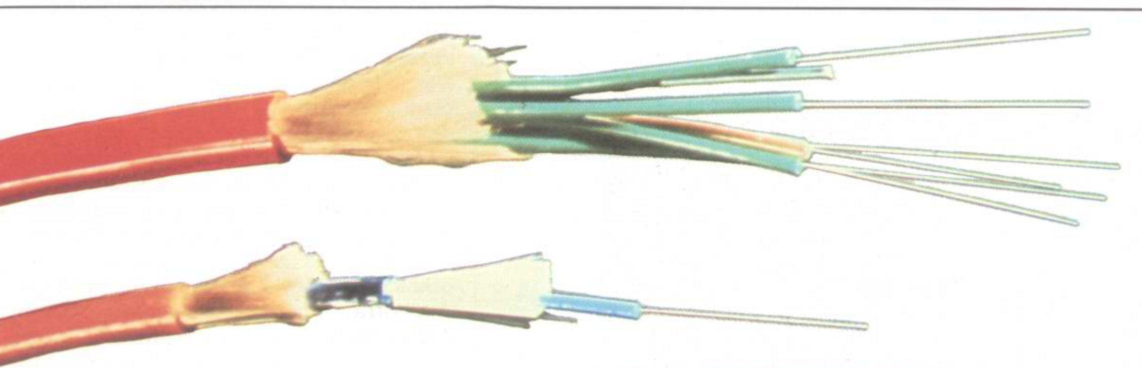
Los fertilizantes y los abonos naturales se aplican a la tierra y a las plantas por medios muy variados, que comprenden desde la simple aplicación manual hasta la distribución mecanizada. Los abonos naturales suelen esparcirse sobre la tierra, que luego se labra. A veces, los residuos líquidos de las unidades intensivas de cría de ganado se rocían o bombean sobre los pastos para proporcionar nitrógeno. Se ha apuntado la idea de que esta práctica podría propagar ciertas enfermedades del ganado y provocar en el hombre infecciones por acción de los microorganismos causantes de algunos tipos de envenenamiento de los alimentos.

Los fertilizantes minerales o sintéticos se aplican mayoritariamente en forma de abono de superficie, es decir, se esparcen mecánicamente sobre la tierra, pero también pueden ser incorporados directamente al suelo por el arado —a niveles

El diagrama superior resume la historia de la introducción de la energía en la agricultura. Se refiere a Estados Unidos, que desde este punto de vista es el país que más ha avanzado. A partir de 1940 se observa que la única curva que apenas ha variado sustancialmente es la de la superficie total cultivada. El número de horas de trabajo por hombre se ha reducido a la mitad en sólo 20 años. El empleo de animales ha disminuido todavía más. Sin embargo, la producción agrícola ha experimentado un continuo crecimiento, que es consecuencia del correspondiente aumento de la energía incorporada en el ciclo agrícola en forma de ayuda mecánica a las operaciones del campo y en forma de fertilizantes.
Los fertilizantes representan una forma de nutrición de los vegetales: es un modo de incorporar energía al ciclo vegetal de la agricultura. La mayor parte de los fertilizantes sintéticos se obtiene a partir de fuentes naturales (yacimientos de fosfato y de potasa, aire atmosférico para el nitrógeno) y se produce en grandes plantas industriales como la que aparece en la fotografía situada a la derecha, destinada a la síntesis de urea.



Fibras ópticas

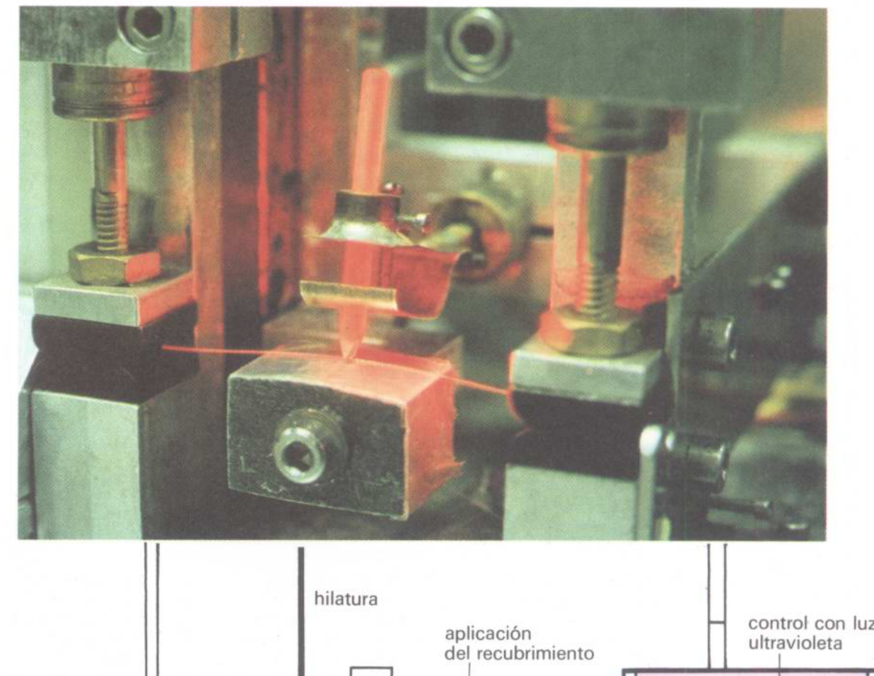


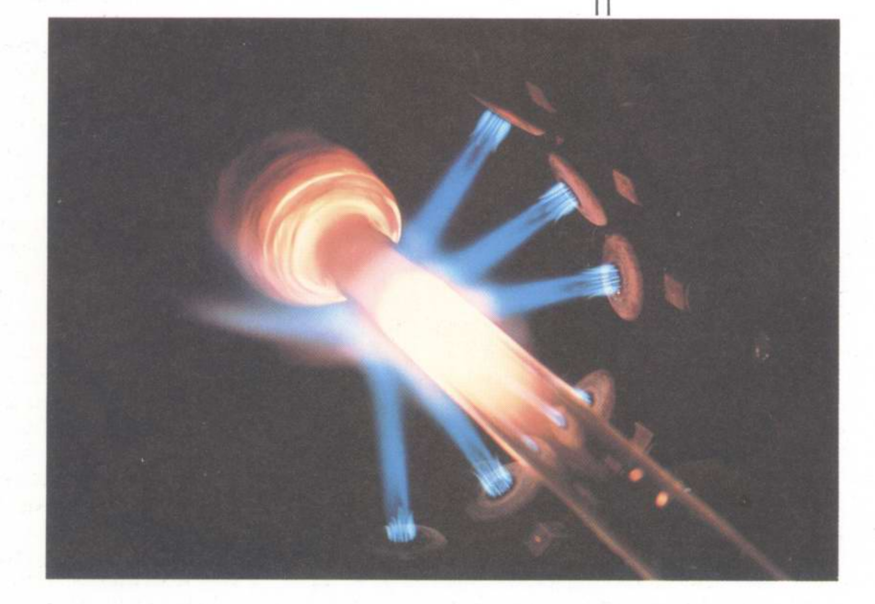
Un haz de fibras ópticas puede transportar miles de conversaciones telefónicas y decenas de canales de televisión. En la foto de la izquierda, dos haces de fibras ópticas recubiertos por una funda de material plástico para protegerlos y aislarlos.

En 1880, Alexander Graham Bell inventó un aparato para transmitir sonido utilizando un haz de luz y lo llamó *fotófono*. Tras haberlo probado con éxito, escribió: "He oído cómo un rayo de sol reía, tosía y cantaba." Bell predijo que este invento sería "mucho más interesante para el mundo científico que el teléfono, el fonógrafo o el micrófono."

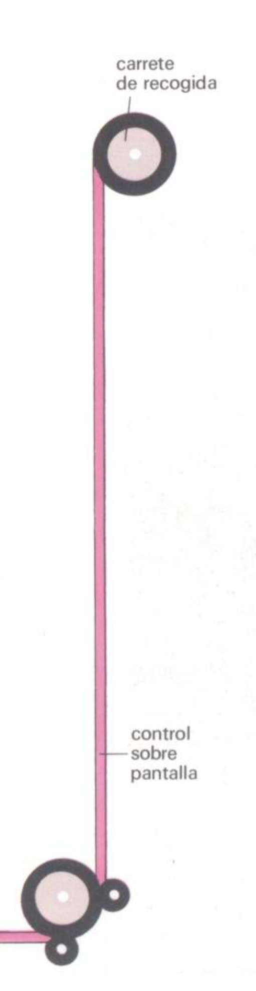
Sin embargo, esa predicción era prematura. El fotófono resultó menos práctico que el teléfono, que el mismo Bell había patentado algunos años antes. En aquella época (igual que actualmente), la ventaja del teléfono respecto al fotófono radicaba en el medio de transmisión —hilo de cobre— que se utiliza en el teléfono para transmitir los mensajes. El hilo que conduce electricidad se puede colocar sobre el suelo o enterrarse en distancias de muchos kilómetros, se puede doblar y desviar cuando la existencia de algún obstáculo lo requiere y apenas experimenta la influencia de los agentes atmosféricos. En cambio la niebla, la lluvia o la nieve pueden interrumpir los rayos de luz e incluso, aun estando el aire limpio, la intensidad de la luz disminuye rápidamente con la distancia.

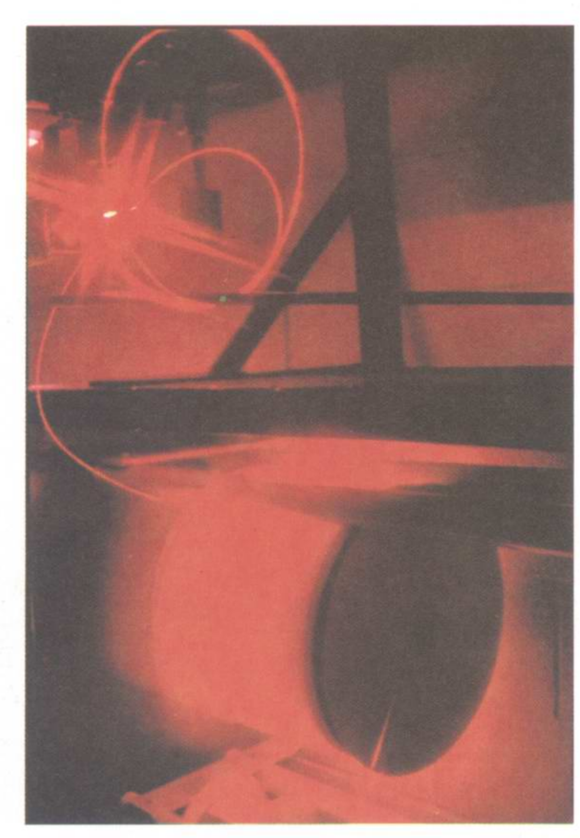
El problema básico del fotófono radicaba en el hecho de que no existían hilos para conducir señales luminosas análogos a los hilos de cobre que llevan las señales eléctricas de los teléfonos. En cambio, actualmente, se pueden utilizar hilos conductores de luz gracias al desarrollo de las *fibras ópticas*: hilos de vidrio que transmiten la luz con principios similares a los de las lentes. Las mejoras introducidas en los últimos veinte años en la calidad de las fibras ópticas han permitido una auténtica revolución en el sector de las comunicaciones, en Medicina y en la industria. La capacidad cada vez mayor de los materiales utilizados para transportar haces de luz a grandes distancias con escasas pérdidas hace que la luz sea un portador de información mejor, más rápido y más eficaz que la electricidad.





Cómo se produce la transmisión de información Cuando se transmite una información por radio, se transforma, como primer paso, en variaciones de corriente eléctrica. Por ejemplo, un micrófono transforma la voz humana en una señal eléctrica proporcional al sonido. En una emisora se somete la señal a distintos procesos





El esquema, entre las dos páginas, recoge el proceso de "hilatura" de una fibra óptica a partir del cilindro que es obtenido por estratificación sucesiva de vidrio y distintas sustancias añadidas para obtener distintos índices de refracción. En el horno se calienta el cilindro de vidrio hasta que se puede estirar para obtener un hilo fino. Después del control del diámetro del hilo se procede a la aplicación del recubrimiento de plástico que sirve de aislamiento y protección. De esa forma, después de un primer control con luz ultravioleta, el hilo se controla sobre una pantalla y se enrolla en un carrete terminal. En la espectacular foto inferior de la página anterior se puede ver el horno y en la foto superior, el control con luz ultravioleta. Sobre estas líneas, el paso de luz láser por una fibra óptica.

(*modulación*) obteniéndose la señal de radiofrecuencia que se puede transmitir. El aparato de radio que recibe esta señal lleva a cabo el proceso inverso (*demodulación*) y, tras amplificar la señal, reproduce el sonido a través del altavoz.

Con la luz se pueden obtener también señales que varían con el tiempo. Para transmisión, se utilizan señales digitales haciendo lucir o no una fuente de luz de acuerdo con un código preestablecido.

La luz puede ser en realidad un portador de la información mejor que las ondas de radio porque puede transmitir mayor número de *bits* (unidades de información) por unidad de tiempo. La luz puede dividirse en unidades de menor duración que las ondas de radio (su mayor frecuencia hace que se puedan obtener secuencias de impulsos con más información y menos errores en el mismo intervalo de tiempo). La luz emitida por un láser de estado sólido transporta 50 *bits* del código binario en una millonésima de segundo.

Con esta velocidad de transmisión se pueden enviar por una misma fibra muchas líneas o canales distintos de información uniendo los *bits* procedentes de cada canal en un único haz, de forma parecida a la unión de los coches de una carretera de acceso a una autopista a los que ya circulan por ella sin que se produzcan colisiones. Una fibra puede transportar varios miles de conversaciones telefónicas o varios programas de televisión simultáneamente.

Esos sistemas de comunicación tienen que tener en los puntos terminales de la fibra dispositivos que transformen las señales eléctricas en señales luminosas y viceversa. Los dispositivos que transforman señales eléctricas en luminosas son diodos emisores de luz (LED). En realidad los LED —de tamaño parecido al de un grano de arena— codifican los impulsos eléctricos en impulsos de luz infrarroja, que es invisible para el ojo humano, pero que tiene un alto grado de eficacia en la transmisión por fibras ópticas. Los dispositivos que convierten de nuevo las señales luminosas en impulsos eléctricos se conocen como *sensores de luz* o *reveladores fotoeléctricos*.

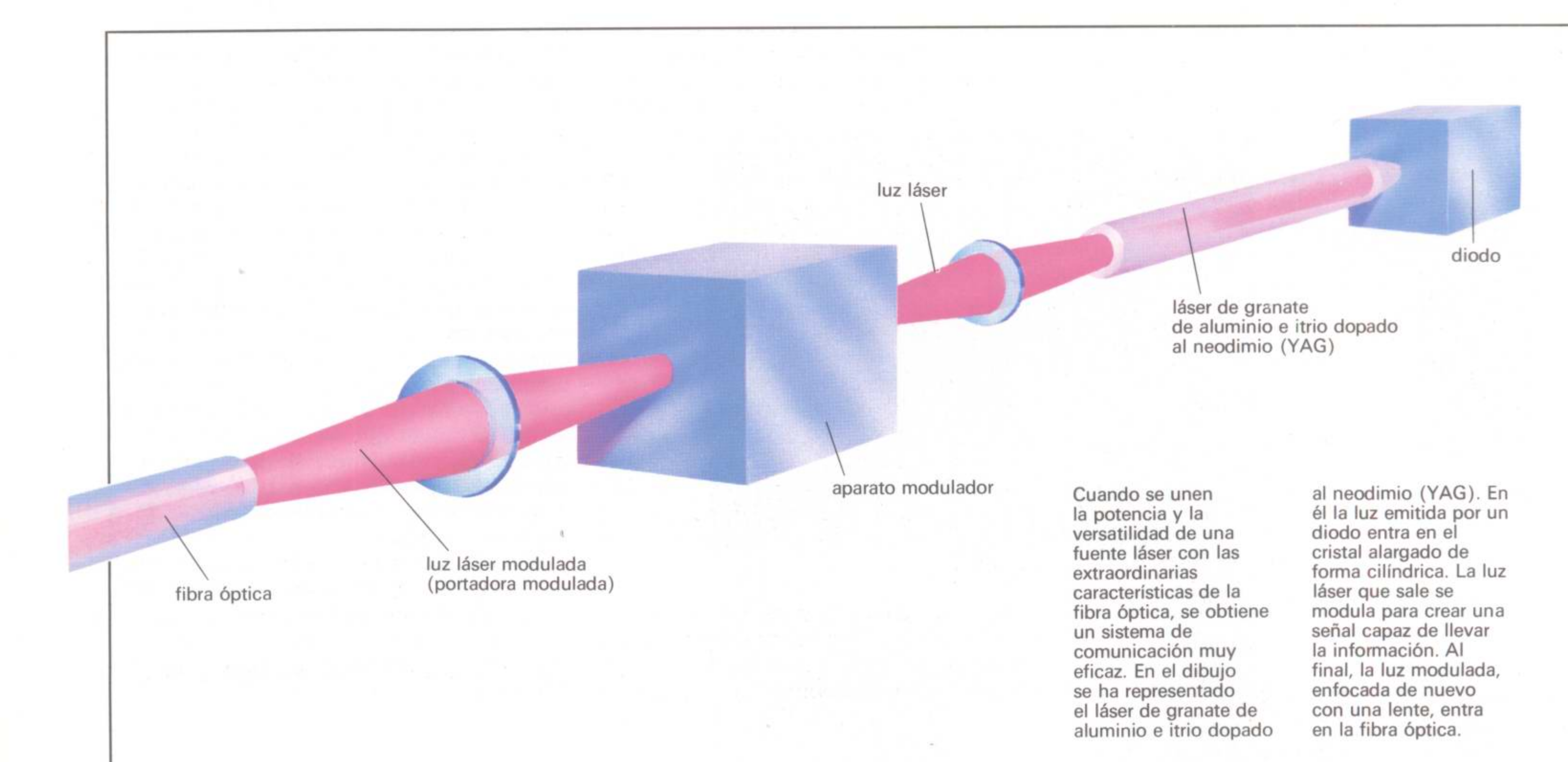
El ingeniero Charles K. Kao, de ITT, fue el primero que propuso, en 1966, la utilización de fibras ópticas para la transmisión de señales luminosas. En aquella época, las mejores fibras de vidrio absorbían el 99% de la luz que entraba después de un recorrido de diez metros. Para obtener un material apto para la transmisión de luz por fibras, eran necesarias dos mejoras: el material tenía que ser más transparente, y las fibras tenían que fabricarse de forma que se evitara la dispersión de la luz a través de su superficie externa.

Actualmente se han obtenido fibras ópticas que pueden transmitir luz a distancias de kilómetros sin que se produzca prácticamente disminución de intensidad. Con las fibras ópticas también se utilizan repetidores para volver a aumentar periódicamente la intensidad de la señal, pero la pureza de la transmisión es tan elevada que son necesarios muchos menos repetidores que en el caso de conductores eléctricos.

Estructura de la fibra Existe otro parámetro, además de la pureza de la transmisión, importante para el buen funcionamiento de las fibras ópticas, que es la estructura de la fibra en su sección transversal. Si las fibras ópticas estuvieran hechas del mismo material en todo su espesor, una gran parte de la luz se dispersaría al exterior por la superficie externa. Para evitar este efecto, las fibras se fabrican de forma que cualquier rayo de luz que se dirija al exterior se desvíe de nuevo hacia el centro de la fibra. Este efecto se podría comparar a una pista de una bolera que fuera plana en la parte central y ligeramente elevada en las bandas laterales. Si la bola intentara desviarse hacia un lado, los bordes la devolverían hacia el centro.

Estas fibras se obtienen basándose en el principio de que los distintos tipos de material desvían la luz de forma diferente, en función del índice de refracción del material. El índice de refracción es, en realidad, una medida de la desviación de un rayo de luz al pasar de un medio a otro. Cuanto más alto es el índice de refracción, mayor es el ángulo de desviación del rayo. La parte interior de la fibra, llamada *alma*, tiene un índice de refracción alto y, a medida que se avanza hacia la superficie de la fibra, el material tiene un índice de refracción progresivamente menor.

La sección transversal de una fibra óptica se puede representar como una serie de círculos concéntricos de distinto material, donde cada círculo tiene un índice de refracción algo inferior al del círculo inmediatamente interior. La mayor parte de la luz pasa por la parte central de la fibra, pero si un rayo se desvía hacia afuera, se refleja progresivamente y vuelve hacia el centro. La fibra óptica se puede comparar a una lente muy larga que enfoca conti-



Cuando se unen la potencia y la versatilidad de una fuente láser con las extraordinarias características de la fibra óptica, se obtiene un sistema de comunicación muy eficaz. En el dibujo se ha representado el láser de granate de aluminio e itrio dopado al neodimio (YAG). En él la luz emitida por un diodo entra en el cristal alargado de forma cilíndrica. La luz láser que sale se modula para crear una señal capaz de llevar la información. Al final, la luz modulada, enfocada de nuevo con una lente, entra en la fibra óptica.

nuamente la luz hacia su interior. En estas fibras las capas de distinto índice de refracción están fundidas y no existen variaciones en la capacidad para transmitir la luz a pesar de variar el índice de refracción.

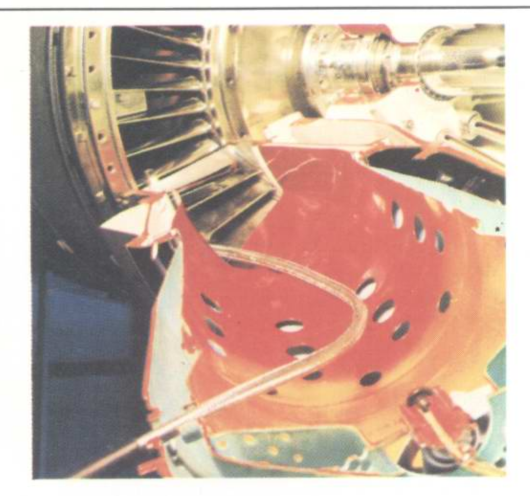
Preparación de las fibras ópticas En la fabricación y tratamiento de las fibras ópticas se utilizan técnicas especiales para conseguir capas suficientemente finas.

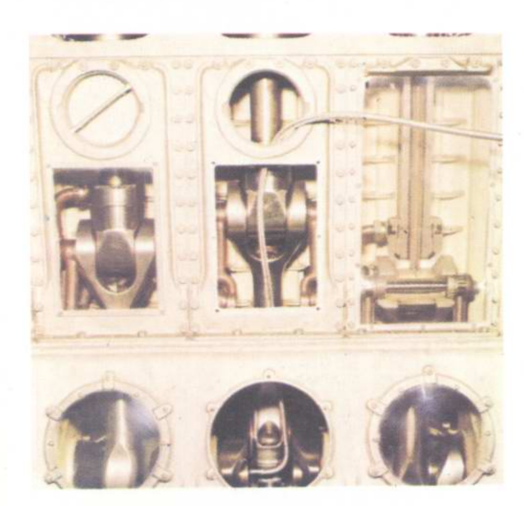
Se calienta un cilindro de sílice fundida hasta que alcance una temperatura de unos 1.600 °C, a la que cualquier vidrio a base de sílice (cuyo punto de fusión es inferior) pasa al estado de vapor. A continuación, se añaden determinados elementos a los vapores antes de que pasen por un tubo que tiene una longitud de 1 metro y un diámetro de 2,54 centímetros. A medida que pasa por el tubo, el vapor va depositando una capa fina en la parte interior del tubo, efecto parecido al vapor que aparece en una placa de vidrio colocada sobre una tetera. Para variar el índice de refracción del material que se deposita, se modifica gradualmente la composición del vapor de vidrio, variando las sustancias que se añaden al vidrio antes de su paso por el tubo. Pequeñas cantidades de boro disminuyen el índice de refracción, mientras que determinados compuestos de bióxido de germanio lo aumentan.

Con este método se pueden depositar en el interior del tubo hasta centenares de capas una tras otra antes de cortar la alimentación de vapor de vidrio. El tubo obtenido se calienta hasta una temperatura de 2.000 °C y se transforma en una barra sólida enfriándolo. Las últimas capas de-

DISTORSION DE SEÑALES EN LA FIBRA MULTIMODO

Arriba a la izquierda, una señal de entrada donde los segmentos verticales indican la cadencia temporal. A la derecha, la misma señal a la salida, en la que se aprecia la distorsión producida. Debajo se puede ver cómo en una fibra multimodo los rayos realizan en el mismo intervalo de tiempo recorridos distintos, representados por las flechas negra y roja del centro. Por tanto, en un determinado punto de la fibra se miden, para un tiempo dado, energías distintas, o lo que es lo mismo, las mismas energías se miden a lo largo de la fibra en momentos distintos. Este efecto produce un retardo que se traduce en la señal completa en una forma de onda final más expandida que la inicial (abajo, derecha e izquierda). En la utilización práctica de las fibras multimodo se consigue garantizar una fidelidad de la señal de salida suficiente por lo menos para la utilización en distancias cortas, sobre todo si se utiliza un diodo de emisión luminosa.





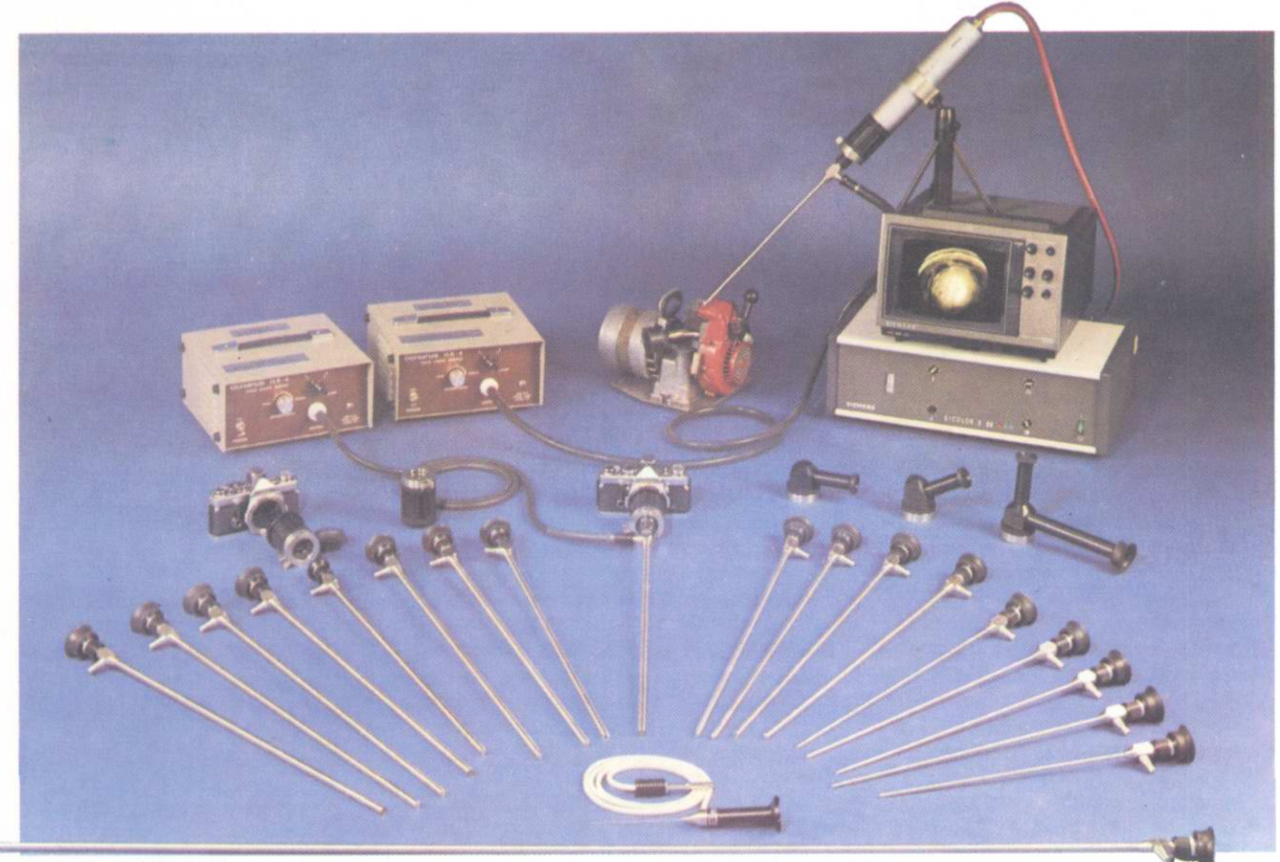
positadas forman el núcleo de la barra, mientras que las primeras constituyen el recubrimiento. La barra caliente tiene, en general, un diámetro algo mayor de un centímetro, por lo que se estira para conseguir un hilo fino. Si se realizan las operaciones con el debido cuidado, los distintos estratos permanecen en la misma proporción, incluso cuando la barra se estira para conseguir longitudes de hasta 10 km, y diámetros tan delgados como el de un cabello humano. Estos hilos se recubren con materiales plásticos de protección, porque, a pesar de ser bastante resistentes, se pueden rayar fácilmente, y se enrollan en carretes para su transporte. Cuando son necesarias longitudes mayores, se empalman los hilos. Estos se encuentran normalmente unidos formando mazos, que pueden llegar a tener centenares de aquéllos.

Aplicaciones Las fibras ópticas se pueden utilizar tanto para transmisión de imágenes como para comunicaciones. Por ejemplo, el endoscopio es un instrumento muy utilizado en Medicina formado por un tubo flexible que contiene varias fibras ópticas, mediante el cual el médico puede examinar el estómago, el tubo digestivo y otras partes del cuerpo humano, que de otra forma serían inaccesibles, introduciendo el tubo por la boca, la nariz o el recto del paciente. De esa forma se hacen innecesarias muchas operaciones quirúrgicas de exploración. También, mediante aparatos que llevan incorporadas fibras ópticas, los técnicos pueden inspeccionar zonas radiactivas de las centrales nucleares a una distancia de seguridad. Las fibras ópticas permiten asimismo examinar zonas inaccesibles por inspección directa en el sector mecánico. En comunicaciones, las fibras ópticas son más eficaces, y ligeras, y menos voluminosas y caras que los hilos de cobre.

Por lo tanto, puede llegar el día en que el fotófono de Bell resulte ser un invento "mucho más interesante que el teléfono".

Véase **Diodo de emisión luminosa (LED); Láser; Luz; Vidrio**

La fibroscopía es uno de los más importantes campos de aplicación de fibras ópticas. En la foto superior se ve el control de las palas de una turbina de motor a reacción aeronáutico. A la izquierda de estas líneas se puede observar el control estroboscópico de las bielas de un motor Diesel marino. En la foto bajo estas líneas, un sistema completo de fibroscopía industrial: además de los amplificadores de luz y las sondas, vemos una pantalla de control y un pequeño motor eléctrico inspeccionado por fibroscopía.



Fibras y tejidos sintéticos

Los primeros tejidos artificiales se remontan a la antigüedad, cuando los habitantes de las islas Marquesas arrancaban la corteza de las moreras, la trataban químicamente para extraer la celulosa y la prensaban hasta obtener una tela. En 1855 el científico suizo Georges Audemars usó la corteza de morera para fabricar la primera fibra artificial de la Edad Moderna. En un primer momento el tejido fabricado con esta fibra fue llamado seda artificial ya que Audemars basaba su proceso en la acción del gusano de seda. Posteriormente, después de que este tejido fuese sometido a una serie de modificaciones, tanto en la materia prima como en el método de fabricación, fue rebautizado en 1924 con el nombre de *rayón*.

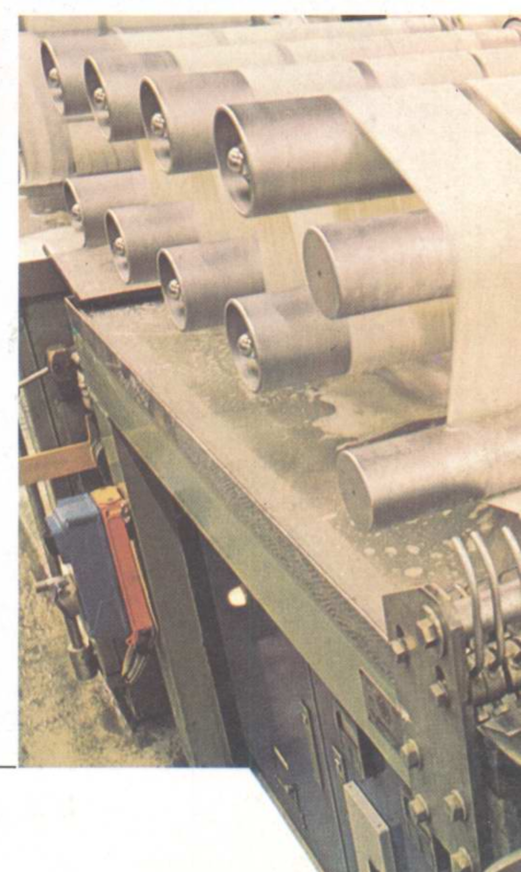
El gusano de seda segrega un fino hilo de líquido de unas pequeñísimas glándulas. Cuando este líquido se pone en contacto con el aire, solidifica formando un hilo o filamento extremadamente fino y continuo, ya que sus moléculas se unen entre sí formando una cadena. Estas cadenas (formadas por macromoléculas o polímeros) se mantienen unidas gracias a unas débiles fuerzas electrostáticas.

Los procedimientos normales de fabricación de las distintas fibras sintéticas tienen ciertos aspectos en común. El polímero se convierte en líquido por disolución en un disolvente o por fusión, y entonces ese líquido es extrusionado a través de una hilera (tobera). Los filamentos que salen de ésta se solidifican por precipitación o evaporación del disolvente o, simplemente, por enfriado, y luego son estirados con el fin de que las moléculas del polímero se dispongan en la dirección de la fibra, lo cual incrementa la resistencia de ésta. Las fibras artificiales están hechas en forma de filamento continuo o de fibras cortadas (de corta longitud) para la producción de hilados.



Rayón El rayón se presentó al público por primera vez en la Exposición Universal de París de 1889. Ya en 1910 se fabricaba a escala industrial en Europa y en Estados Unidos. Igual que el algodón, el rayón tiene como primer ingrediente la celulosa, que lo hace muy resistente. Uno de los primeros productos que se fabricó con el rayón fueron las medias de seda "baratas". Durante la I Guerra Mundial, el rayón se utilizó a gran escala para los uniformes militares. Hoy en día el rayón, solo o mezclado con otras fibras, se utiliza en todos los sectores de la industria textil (tapicería, alfombras, vestidos, ropa de hogar) así como en la fabricación de neumáticos y otros productos industriales.

Nailon El nailon es el nombre genérico de un grupo de fibras fabricadas íntegramente a partir de materiales sintéticos, procedentes de la industria petroquí-



mica. El nailon fue desarrollado en los tardíos años veinte y treinta. En 1938 las medias de nailon habían sustituido casi completamente a las de rayón (los trajes de seda natural se convirtieron en un auténtico artículo de lujo). Por aquel tiempo, el nailon era, con gran diferencia, el tejido más resistente conocido, siendo utilizado rápidamente también para las suturas quirúrgicas. En Estados Unidos el nailon se transformó en una parte vital de la industria bélica: paracaídas, uniformes, neumáticos y muchos otros productos se fabricaban exclusivamente con nailon.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES QUIMICAS

Fibras	Densidad	Recuperación humedad (% en peso)	Módulo elástico (gp/cm²)	Recuperación elástica (%)	Tenacidad (gp/cm²)	Alargamiento (%)
rayón acetato	1,33	5,6	—	52	1,2-1,8(−30)	23-30
rayón viscoso	1,52	9,9	0,7	36	2-4(−20)	8-20
proteínas regeneradas	1,29	11,4	—	—	0,7-1,2(−40)	40-60
nailon	1,14	3,8	0,25	34	4,5-8,7(−10)	30-40
poliéster	1,38	0,4	0,35	15	3,5-4(0)	35-42
poliacrílicas	1,16	1,4	0,55	20	2-3,5(−20)	20-30
polipropilénicas	0,91	0,0	0,55	38	4,5-5,5(0)	20-90

Actualmente es utilizado en casi toda la gama de fabricaciones textiles, y además tiene gran variedad de usos industriales. Su elasticidad, impermeabilidad y facilidad de tintado hacen del nailon una fibra ideal no sólo para revestimientos, decoración y materiales deportivos (como por ejemplo el encordado de las raquetas, las redes y los hilos de pescar, etc.), sino también para productos industriales, como son las correas para maquinaria, neumáticos, cables y filtros.

Las necesidades crecientes de fibras textiles han favorecido la introducción del nailon, a pesar de que en la actualidad ya ha sido superado en calidad por otras fibras sintéticas con propiedades más parecidas a las de las fibras naturales.

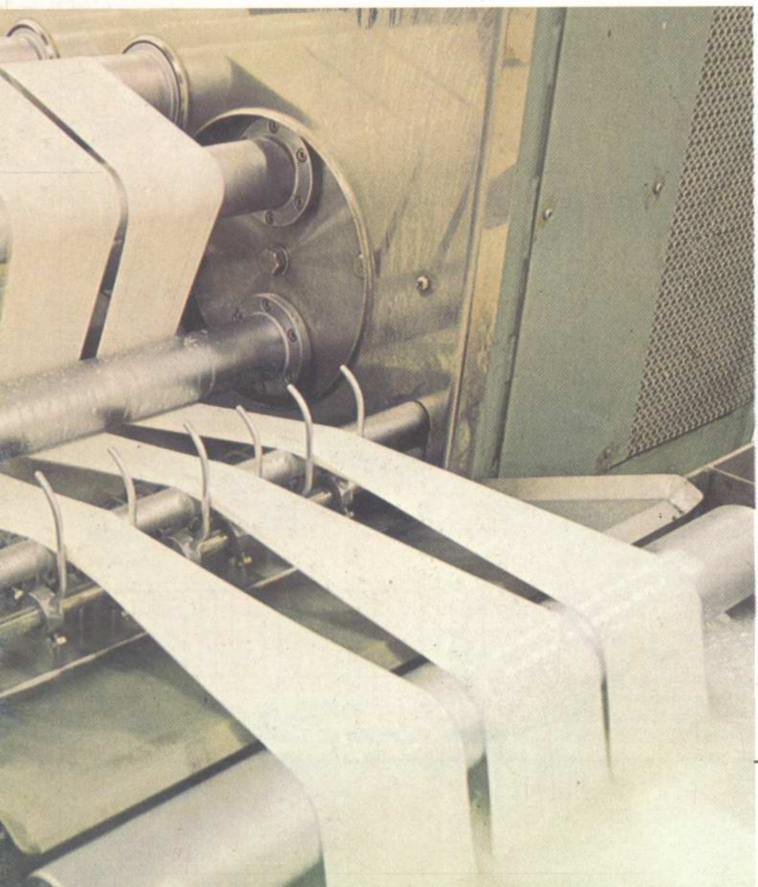
Poliéster Como en el caso del nailon, las materias primas de las fibras de poliéster son productos derivados del petróleo, en este caso, paraxileno y etileno, los cuales se convierten en ácido tereftálico y etilenglicol. El poliéster tiene también una amplia gama de aplicaciones industriales basadas en sus notables cualidades: elasticidad, resistencia al agua y a las arrugas, etc. Además los poliésteres no son atacados por las polillas ni por otros insectos. Los trajes y pantalones están fabricados principalmente a base de mezclas, poliéster-lana, poliéster-algodón y poliéster-rayón, aunque recientemente se han incorporado artículos de punto 100% poliéster.

Fibras acrílicas La primera fibra acrílica, introducida a principios de los años cincuenta, fue inventada gracias al esfuerzo realizado para producir un tejido sintético que fuese resistente y, a la vez, suave y confortable. Las fibras acrílicas se usan mezcladas con otras fibras, a las que proporcionan lanosidad y resistencia a la luz y a las manchas (los acrílicos son químicamente inertes y por lo tanto no reaccionan cuando se exponen a la luz o a sustancias químicas).

Las fibras sintéticas han revolucionado la industria textil haciendo que los productos textiles sean importantes no sólo para la casa, sino también para la industria y la técnica.

Véase **Plásticos; Polímeros**

Una de las fibras sintéticas más usadas es el terital, una fibra de poliéster derivada del ácido tereftálico tratado con etilenglicol. Este compuesto es estable en estado de fusión y por lo tanto su transformación en fibra textil sólo es posible mediante extrusión de la materia fundida. Los filamentos así obtenidos se enfrían y se planchan. Las fibras de poliéster se pueden obtener en forma de hilo continuo o de fibra discontinua. En la página anterior, a la izquierda, hilado del copo de terital a la salida de las chimeneas de enfriamiento. Aquí debajo, planchado. A la derecha, prensas de embalaje del copo de terital. Las fibras de poliéster son resistentes al calor y, en general, a los reactivos químicos; mezcladas con fibras naturales, le dan al tejido una mayor resistencia mecánica y disminuyen su tendencia a formar arrugas. Una fibra acrílica es el orión, que podemos ver en la página anterior al microscopio. En la tabla superior, principales características de algunos tipos de hilados sintéticos. La diferencia entre las fibras artificiales y las sintéticas consiste en el hecho de que las operaciones de producción de las primeras parten de materiales presentes en la Naturaleza, mientras que las segundas parten de sustancias muy simples, llamadas monómeros, que por polimerización o por policondensación se unen para formar largas cadenas, cuya estructura es análoga a la de la celulosa o a la de las proteínas.





Fichero de datos

Un fichero de datos es un conjunto de documentos interrelacionados o unidades de información que se usan para un fin preciso. Un fichero puede contener un solo documento o una cinta de varios millones de datos, como por ejemplo los nombres y direcciones de todos los suscriptores de una revista.

Un problema que presentan los ficheros de datos, o unidades de memoria, de los ordenadores actuales es que todavía ocupan mucho espacio. La memoria humana, que tiene un sistema particular de archivo de datos, puede almacenar una cantidad de información mayor en un espacio mucho más reducido (la zona de memoria del cerebro) que el que necesita el ordenador más moderno. Además del espacio, también es un factor importante la velocidad con que se recuperan los datos de la memoria del ordenador.

Hardware de los ficheros de datos Cuando se habla de ordenadores, hay que hacer siempre una distinción entre el *hardware* y el *software*. El primer término abarca toda la estructura física que constituye el ordenador, mientras que el segundo indica todos los recursos de programación que lo hacen operativo a un usuario. Los medios físicos (o *hardware*) que se utilizan actualmente para almacenar los datos son de distinto tipo, teniendo cada uno sus ventajas y sus inconvenientes:

- *Discos magnéticos y pilas de discos.* Junto con las cintas magnéticas, son los sistemas más utilizados actualmente como memoria auxiliar de los ordenadores.

El disco magnético es de metal ligero y por su aspecto se parece a los discos de música. Su superficie está cubierta por un material magnetizable, de forma que los datos están almacenados en puntos magnetizados situados sobre pistas que forman círculos concéntricos sobre la superficie (de manera similar a los surcos de un disco corriente).

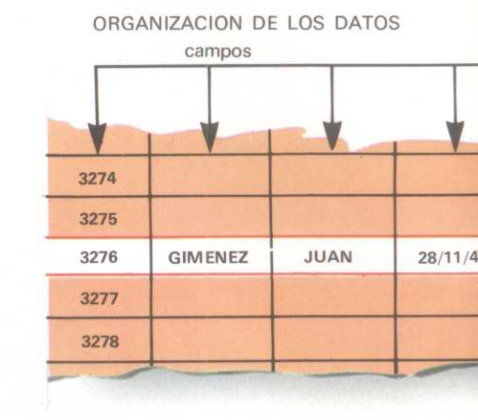
Un disco flexible (*diskette*) es un tipo de disco más pequeño y, como su nombre indica, flexible; por su aspecto se parece a uno de 45 r.p.m. en su funda de papel. Su función es similar a la de los discos magnéticos y se utiliza fundamentalmente en los microcomputadores y ordenadores personales. Una pila de discos no es otra cosa que un paquete de discos magnéticos puestos unos encima de otros, como una pila de discos corrientes puesta sobre el eje de un tocadiscos.

- *Discos fijos.* En este caso un disco único tiene una cabeza de lectura/escritura por cada una de sus aproximadamente 200 pistas. Esto se puede comparar con un disco de música con cerca de 200 surcos y un brazo separado para cada uno de ellos. La ventaja está en el rapidísimo acceso a los distintos sectores del disco.
- *Cassette.* También se utilizan en los microprocesadores, que de esta forma almacenan los datos en una cinta «encapsulada» en su soporte y con el mismo funcionamiento que los magnetófonos de *cassete*.
- *Cinta magnética.* El sistema de funcionamiento de una cinta magnética como memoria auxiliar de un ordenador es prácticamente el mismo que el de un magnetófono de bobinas de cinta. La cinta es una tira de plástico de aproximadamente 12 mm de ancho, cubierta por una de sus caras con una capa que contiene óxido de hierro.
- *Memoria óptica.* Se trata de una forma de almacenar datos por medio de la luz de un láser. Las imágenes se producen agujereando una lámina fina y se leen iluminándola con la luz de un láser. Este sistema de memorizar datos está todavía en fase de desarrollo.
- *Memoria de burbujas magnéticas.* Se trata de pequeñas unidades magnéticas formadas por finos estratos monocristalinos de granate sintético. Las memorias de burbujas magnéticas no tienen ninguna parte móvil y se pueden almacenar millones de *bits* de información en un *chip* de pocos milímetros cuadrados.

Distintas aplicaciones de los dispositivos de memoria Existen varias formas de usar los ficheros de datos en las distintas situaciones.

Puesto que la forma más simple de usarlo es examinando los registros secuencialmente, muchos de ellos se conservan todavía sobre cinta magnética. Por ejemplo: el fichero de las nóminas de una gran empresa almacena los nombres de todos sus empleados, y, como a éstos hay que pagarlos periódicamente, la forma más simple de hacerlo es guardando la grabación de la nómina en bobinas de cinta magnética.

Los discos fijos se utilizan cuando es necesario un acceso más rápido a los da-



tos. Un ejemplo de ello es el sistema de reservas de una compañía aérea, en el que se tiene que saber rápidamente las disponibilidades en la reserva de plazas.

Composición de un fichero de datos Consideraremos ahora algunos de los diversos elementos que componen un fichero de datos.

Por *campo* se entiende la posición reservada para el dato en la unidad de memoria. Un campo contiene un nombre o una dirección, y se puede comparar al espacio para un coche limitado por las líneas de un aparcamiento.

Un *registro* es una serie de campos unidos de forma lógica y que constituyen una unidad. Por ejemplo: todos los datos de la nómina relativos a un empleado forman un registro.

Un *bloque* es una unidad específica de memoria. La longitud y contenido del bloque están determinados por el operador del ordenador, y no por el contenido lógi-



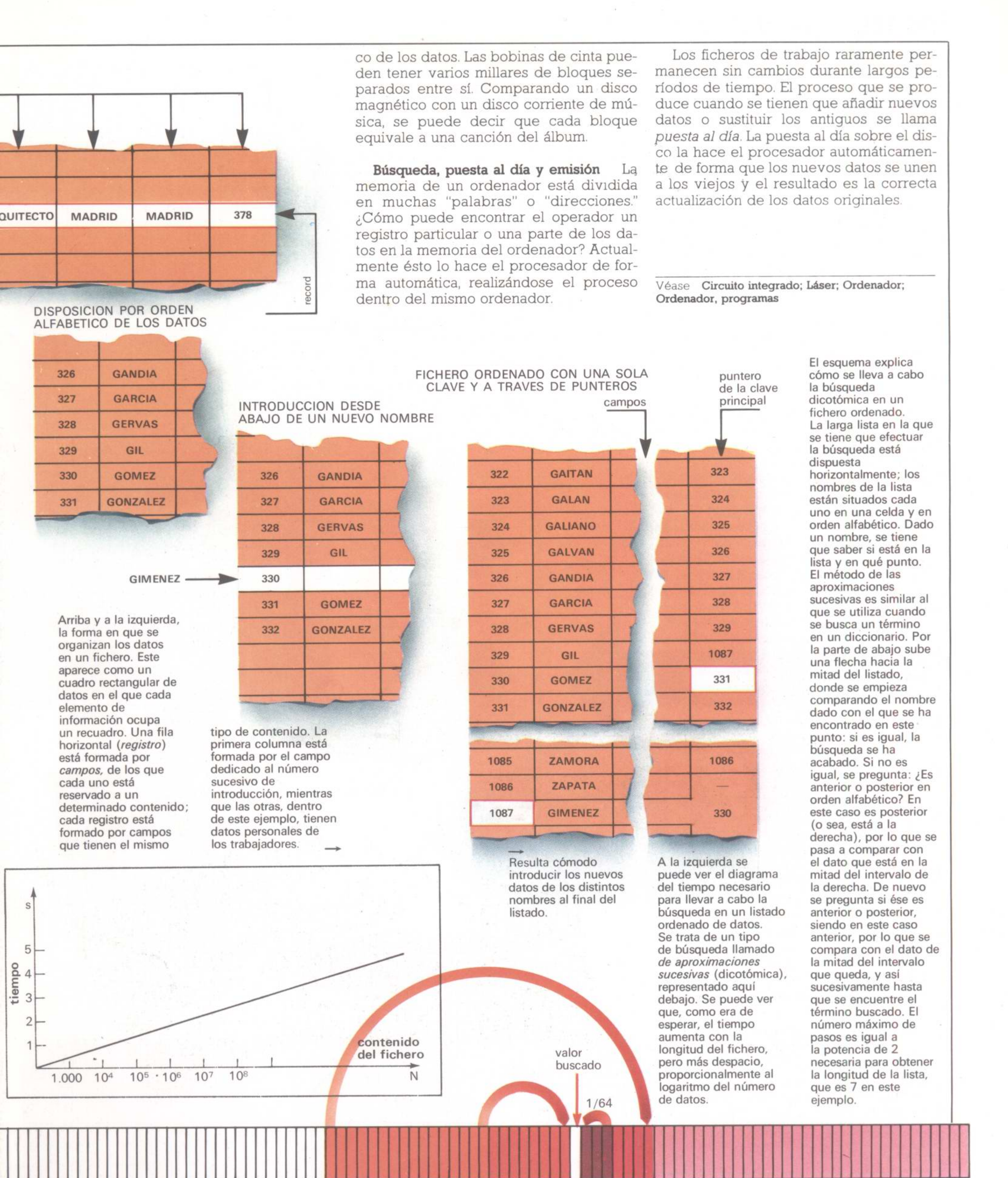
Con el término *fichero* se da a entender una colección de datos normalmente poco extensa y dotada sobre todo de una estructura simple, aunque en algunos casos pueda tener una gran extensión. Por ejemplo, un fichero de gran extensión y estructura simple es una guía de teléfonos. Un fichero de datos pequeño del mismo tipo que los que se utilizan en los ordenadores personales puede estar contenido en los discos flexibles, "floppy disk" o "diskettes" de apenas unos centímetros de diámetro (sobre estas líneas).

co de los datos. Las bobinas de cinta pueden tener varios millares de bloques separados entre sí. Comparando un disco magnético con un disco corriente de música, se puede decir que cada bloque equivale a una canción del álbum.

Búsqueda, puesta al día y emisión La memoria de un ordenador está dividida en muchas "palabras" o "direcciones." ¿Cómo puede encontrar el operador un registro particular o una parte de los datos en la memoria del ordenador? Actualmente ésto lo hace el procesador de forma automática, realizándose el proceso dentro del mismo ordenador.

Los ficheros de trabajo raramente permanecen sin cambios durante largos períodos de tiempo. El proceso que se produce cuando se tienen que añadir nuevos datos o sustituir los antiguos se llama *puesta al día*. La puesta al día sobre el disco la hace el procesador automáticamente de forma que los nuevos datos se unen a los viejos y el resultado es la correcta actualización de los datos originales.

Véase **Circuito integrado; Láser; Ordenador; Ordenador, programas**



Arriba y a la izquierda, la forma en que se organizan los datos en un fichero. Este aparece como un cuadro rectangular de datos en el que cada elemento de información ocupa un recuadro. Una fila horizontal (*registro*) está formada por *campos*, de los que cada uno está reservado a un determinado contenido; cada registro está formado por campos que tienen el mismo tipo de contenido. La primera columna está formada por el campo dedicado al número sucesivo de introducción, mientras que las otras, dentro de este ejemplo, tienen datos personales de los trabajadores. → Resulta cómodo introducir los nuevos datos de los distintos nombres al final del listado.

A la izquierda se puede ver el diagrama del tiempo necesario para llevar a cabo la búsqueda en un listado ordenado de datos. Se trata de un tipo de búsqueda llamado *de aproximaciones sucesivas* (dicotómica), representado aquí debajo. Se puede ver que, como era de esperar, el tiempo aumenta con la longitud del fichero, pero más despacio, proporcionalmente al logaritmo del número de datos.

El esquema explica cómo se lleva a cabo la búsqueda dicotómica en un fichero ordenado. La larga lista en la que se tiene que efectuar la búsqueda está dispuesta horizontalmente; los nombres de la lista están situados cada uno en una celda y en orden alfabético. Dado un nombre, se tiene que saber si está en la lista y en qué punto. El método de las aproximaciones sucesivas es similar al que se utiliza cuando se busca un término en un diccionario. Por la parte de abajo sube una flecha hacia la mitad del listado, donde se empieza comparando el nombre dado con el que se ha encontrado en este punto: si es igual, la búsqueda se ha acabado. Si no es igual, se pregunta: ¿Es anterior o posterior en orden alfabético? En este caso es posterior (o sea, está a la derecha), por lo que se pasa a comparar con el dato que está en la mitad del intervalo de la derecha. De nuevo se pregunta si ése es anterior o posterior, siendo en este caso anterior, por lo que se compara con el dato de la mitad del intervalo que queda, y así sucesivamente hasta que se encuentre el término buscado. El número máximo de pasos es igual a la potencia de 2 necesaria para obtener la longitud de la lista, que es 7 en este ejemplo.

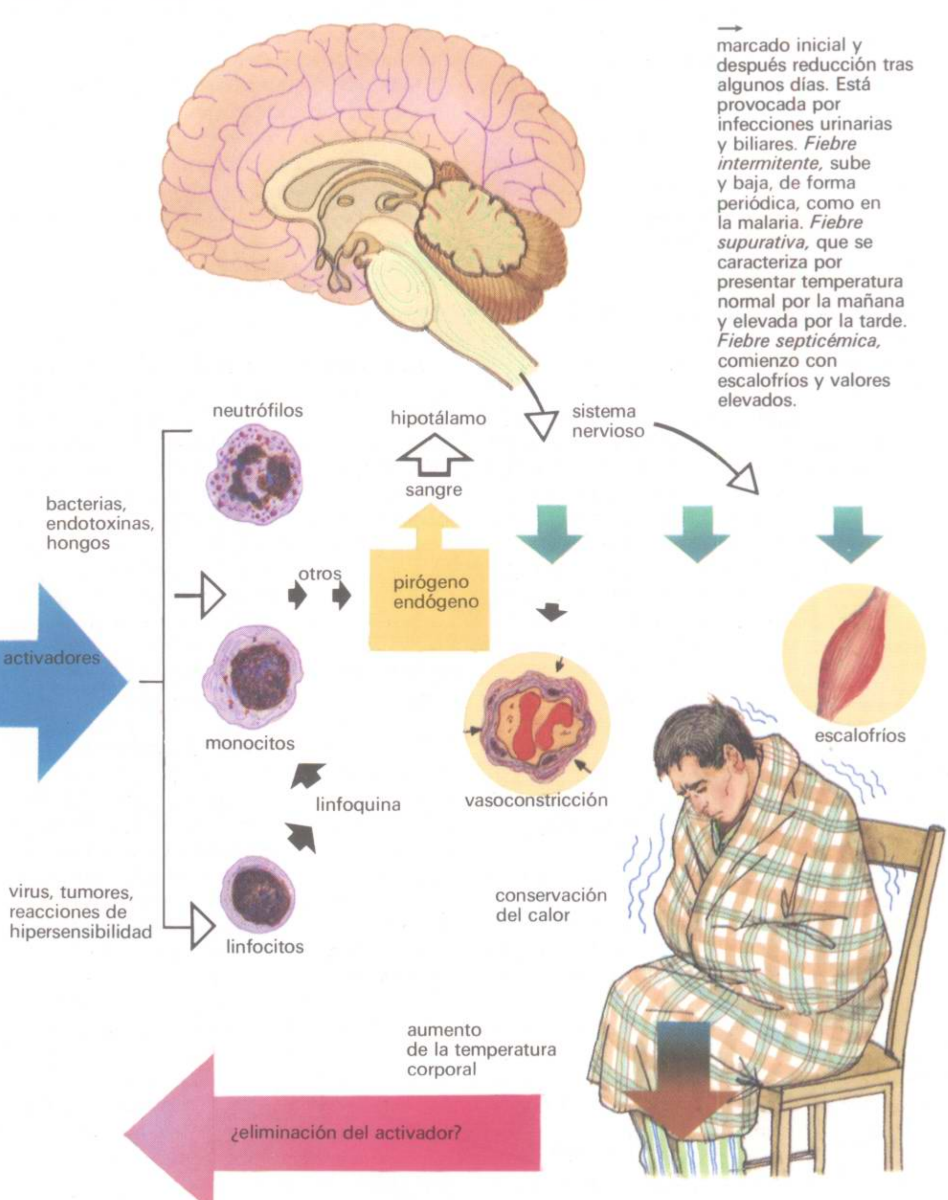
Fiebre

Thomas Sydenham, médico del siglo XVII, escribió que "la fiebre es el motor que la Naturaleza lleva al campo de batalla para destruir a sus enemigos." La creencia de que la fiebre posee un valor terapéutico se remonta a la medicina hipocrática; en la actualidad sabemos que la fiebre puede presentar también efectos negativos y, en consecuencia, se prefiere su alivio a su estimulación. Los científicos, sin embargo, no han llegado a comprender perfectamente los mecanismos de la fiebre, aunque se sabe que es útil no sólo considerada como síntoma diagnóstico sino también como parte integrante del sistema inmunitario del organismo.

La fiebre y la termorregulación No se pudo dar una definición válida de la fiebre hasta el año 1870, ya que, si bien el termómetro había sido inventado a finales del siglo XVII, los aparatos primitivos no eran lo suficientemente precisos como para medir la temperatura corporal interna. La teoría que sugirió el médico alemán Carl von Liebermeister en el siglo XIX acerca de que la fiebre no era el resultado de la incapacidad por parte del organismo para regular su temperatura corporal, sino más bien una regulación de la temperatura a un nivel superior al normal, es la explicación que se acepta hoy en día.

La temperatura a la cual los procesos químicos y eléctricos del organismo se desarrollan normalmente se denomina *punto fijo*; en los seres humanos se sitúa cerca de los 37 °C. Este punto fijo está controlado por el hipotálamo, una parte del cerebro. Cuando la temperatura de nuestro organismo se encuentra en este punto fijo, se dice que estamos en una situación *normotérmica*, es decir, que tenemos una temperatura normal. Si la temperatura es inferior al punto fijo —lo que puede suceder como consecuencia de una exposición al frío—, nos encontramos *hipotérmicos*. Para que la temperatura alcance de nuevo el punto fijo, el organismo puede producir calor mediante los escalofríos, o bien adoptar una postura contraída para evitar la dispersión del calor; esto último también puede conseguirse abrigándose. Si la temperatura de nuestro cuerpo se encuentra en un nivel más alto que el punto fijo —por ejemplo, después de un ejercicio fuerte—, se dice que estamos *hipertérmicos*. En este caso se produce la sudoración, debido a que la evaporación del sudor refresca la piel y colabora a hacer descender la temperatura. Sin embargo, si el punto fijo permanece elevado a pesar de la producción de sudoración y de encontrarse sin ropa de abrigo, entonces la temperatura elevada indica la presencia de fiebre, resultado de una concatenación de fenómenos que los científicos todavía no comprenden en su totalidad.

Los activadores de la fiebre Los científicos han aislado numerosas sustancias que ejercen algún tipo de acción sobre la fiebre. Las investigaciones efectuadas hasta la fecha han puesto de manifiesto que los estímulos clave, es decir, las sustancias que actúan en el centro termorregulador del hipotálamo, son unas proteínas llamadas *pirógenos endógenos* ("pirógeno" es cualquier sustancia que provoca calor o fiebre, y "endógeno" significa "que tiene su origen en el organismo"). Se piensa que estas sustancias llegan al cerebro con la circulación sanguínea y que allí hacen elevarse el punto fijo.



El esquema central muestra el mecanismo por el que, según las teorías más recientes, se produce la fiebre: bacterias u hongos patógenos penetran en el organismo, provocan una reacción por parte de los leucocitos que se adhieren a los microorganismos y liberan una proteína particular denominada *pirógeno endógeno*, responsable del acceso febril. En el caso de los virus o de los tumores, se estimulan, por el contrario, los linfocitos T, que liberan un mediador particular, la *linfoquina*. Esta sustancia estimula a los linfocitos que, a su vez, producen el pirógeno. A la derecha de estas líneas, varios tipos de fiebre: de la conducta de la fiebre se puede establecer con certeza qué tipo de proceso morboso ha afectado al organismo. De izquierda a derecha: *fiebre ondulante*, la temperatura aumenta durante muchos días, permanece elevada y después baja. La evolución es cíclica. Se produce en la brucelosis y en el linfogranuloma. *Fiebre uroséptica* y *bilioséptica*, aumento marcado inicial y después reducción tras algunos días. Está provocada por infecciones urinarias y biliares. *Fiebre intermitente*, sube y baja, de forma periódica, como en la malaria. *Fiebre supurativa*, que se caracteriza por presentar temperatura normal por la mañana y elevada por la tarde. *Fiebre septicémica*, comienzo con escalofríos y valores elevados.

Las células del organismo producen los pirógenos endógenos como reacción a bacterias, virus y otros tipos de antígenos. Los antígenos son sustancias extrañas que al entrar en contacto con nuestro organismo ponen en marcha el sistema inmunitario. Determinadas bacterias contienen endotoxinas en su pared celular. Las endotoxinas están constituidas por varios componentes, uno de los cuales se denomina *lípido A* ("lípido" es el término químico para designar las grasas). Como parte de la defensa del organismo contra las infecciones, los glóbulos blancos de la sangre atacan, ingieren y destruyen el lípido A. Esto tiene lugar mediante la producción de pirógenos endógenos por parte de los glóbulos blancos. Que las endotoxinas están ligadas a la producción de los pirógenos endógenos ha sido probado por experimentos en los que mamíferos de laboratorio (por lo general conejos) inyectados con endotoxinas experimentaron un fuerte aumento de temperatura en el curso de 15 a 30 minutos, mientras que los inyectados con pirógenos endógenos presentaban manifestaciones febriles en los primeros 10 minutos. Otras bacterias, como el estafilococo y el estreptococo, son pirógenos ellas mismas, si bien no poseen endotoxinas. Se ha descubierto que los conejos inyectados con virus de la gripe desarrollaban en la sangre pirógenos endógenos idénticos a los producidos por las reacciones a las endotoxinas, pero que el período de latencia (el tiempo que tarda la fiebre en manifestarse) para los animales inyectados con este virus fue notablemente más largo (65 minutos) que el de la fiebre causada por endotoxinas. Las diferencias en los tiempos indican que el pirógeno endógeno es la causa de las manifestaciones febriles y que las otras sustancias varían en su capacidad para inducir la producción de este pirógeno.

La fiebre puede ser resultado también de una hipersensibilidad a ciertos antígenos. Los antígenos habitualmente son proteínas, hidratos de carbono o complejos de lípidos e hidratos de carbono que estimulan la producción de anticuerpos. En la defensa contra los antígenos existen dos tipos de glóbulos blancos (linfocitos) implicados; un tipo de linfocitos, al entrar en contacto con un antígeno, segrega un anticuerpo específico que destruye el antígeno en el torrente sanguíneo.

El segundo tipo de linfocitos experimenta una transformación tras la exposición al antígeno. Cuando el antígeno y este linfocito transformado entran en contacto, el linfocito produce un enzima que según se cree determina la producción de pirógenos endógenos.

En el caso de hipersensibilidad o alergia, las defensas orgánicas se encuentran hiperreactivas, lo que comporta la producción de pirógenos endógenos.

Según las más recientes teorías, existirían, en realidad, dos tipos de fiebre. En un primer caso, el pirógeno endógeno, liberado como consecuencia de la aparición de agentes patógenos bacterianos o virales, actuaría sobre el hipotálamo a través de un mediador todavía desconocido. En el segundo caso, cuando la fiebre aparece tras graves traumatismos, el agente responsable del aumento de la temperatura estaría representado por las prostaglandinas, sustancias químicas similares a las hormonas, que actuarían conjuntamente con el pirógeno endógeno, no como intermediarios, sino sinérgicamente, es decir, potenciándolo.

Las funciones de la fiebre La elevación del punto fijo se considera un mecanismo de adaptación o de ayuda con diversas finalidades. Algunos microorganismos no pueden sobrevivir a temperaturas superiores a los 38 °C aproximadamente. Esto es válido para algunas cepas de neumococos (lo cual explica el hecho de que la crisis febril señala con frecuencia el comienzo de la superacción de la enfermedad), además de para los gonococos que originan la gonorrea. La fiebre, efectivamente, fue utilizada como tratamiento experimental contra la gonorrea en el curso de los años veinte.

Todos los animales de sangre caliente desarrollan fiebre en respuesta a una infección. Muchos experimentos han demostrado que la capacidad para desarrollar fiebre incrementa las posibilidades de supervivencia, y que si se suprime la fiebre, las posibilidades de supervivencia disminuyen. También los animales de sangre fría desarrollan una especie de fiebre. Dichos animales son incapaces de elevar su temperatura corporal, pero en caso de infección buscan un ambiente más cálido. Este comportamiento está controlado, indudablemente, por el sistema nervioso central. Sería improbable que la fiebre apareciese en especies tan divergentes si no hubiese tenido siempre un significado evolutivo de supervivencia.

La elevación del punto fijo actúa también indirectamente sobre los microorganismos que provocan las enfermedades infecciosas, ya que refuerza los mecanismos de defensa del huésped. Uno de los mecanismos a través del cual los glóbulos blancos protegen el organismo consiste en englobar a los agentes invasores y posteriormente destruirlos. Los lisosomas —enzimas que se encargan de la destrucción de microorganismos en los glóbulos blancos— se activan en el interior de la célula cuando el punto fijo se eleva por encima de un cierto valor.

Las altas temperaturas incrementan también la producción de interferón, una proteína liberada por las células infectadas por virus, que es capaz de impedir la difusión del virus a otras células.

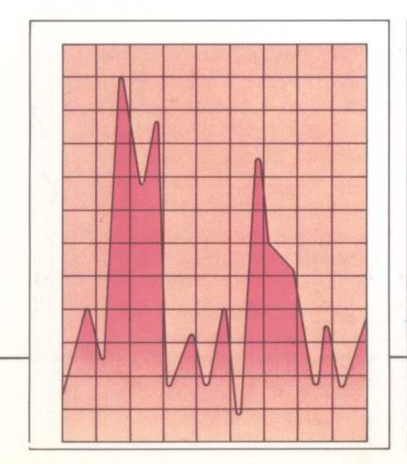
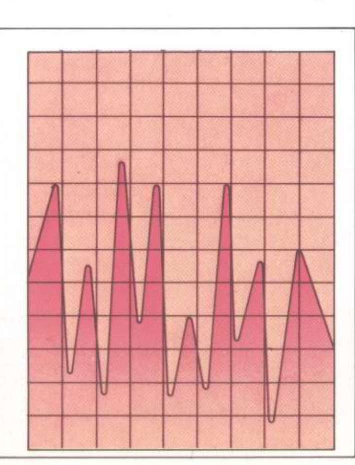
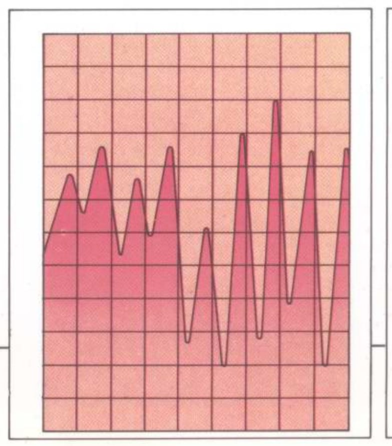
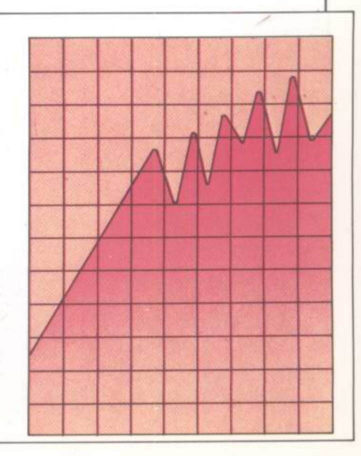
La investigación ha demostrado que otro importante efecto beneficioso de la fiebre es que los glóbulos blancos, la primera línea de defensa del organismo contra la infección, se producen en mayor número a temperaturas más elevadas.

Existen pruebas de que también se incrementa su movilidad, lo que les permite alcanzar más rápidamente los focos de infección.

El tratamiento de la fiebre Es evidente que ciertos fármacos influyen en las regiones cerebrales que regulan la temperatura corporal. Su acción parece consistir en normalizar el punto fijo. Entre los antipiréticos (fármacos que combaten la fiebre) más comunes se encuentran la aspirina y otros analgésicos.

Dado que esos fármacos actúan inhibiendo la síntesis de las prostaglandinas, es probable (como ya se indicó anteriormente) que las prostaglandinas estén implicadas en el mecanismo de la fiebre. Según una teoría actual, los pirógenos endógenos llegan al cerebro e inducen la síntesis de las prostaglandinas, las cuales, a su vez, elevan el punto fijo del hipotálamo. Los agentes que reducen la fiebre, como la aspirina, hacen descender la temperatura corporal no influyendo directamente sobre los pirógenos endógenos, sino inhibiendo su capacidad para activar la producción de prostaglandinas, bloqueando de este modo el proceso febril.

Véase **Analgésicos; Anticuerpos; Aspirina; Cerebro; Enzimas; Inmunidad; Nervioso, sistema; Sangre y grupos sanguíneos**

Filtro y filtración

Los tocadiscos, los silenciadores de los automóviles, las costosas cámaras fotográficas y los grifos de agua tienen todos una cosa en común: utilizan filtros de varios tipos. Un *filtro* es un dispositivo para separar de un conjunto de elementos deseados una componente no apetecida, trátese de la distorsión de una señal eléctrica (tocadiscos), de los sonidos molestos si nos hallamos en el ámbito de las frecuencias sonoras (silenciadores), de algunos colores del espectro visible (cámaras fotográficas), o, mucho más simple y esencialmente, de impurezas del agua (grifo). Sin embargo, aunque los filtros tengan una función similar, actúan de modo netamente distinto. Podemos subdividirlos en cuatro tipos fundamentales: físicos, acústicos, electrónicos y ópticos.

Filtros físicos Son realmente barreras porosas. Pueden ser simples, como un pañuelo de cabeza, o más complicados, como el filtro de un cigarrillo. Por ejemplo, el trozo de papel absorbente utilizado en algunas cafeteras es un filtro cuyas fibras retienen las partículas de café molido, dejando pasar el agua caliente y la sustancia del café disuelta en ella. Otro tipo de filtro es el que se encuentra colocado en casi todos los grifos de agua. Para los acuarios suele utilizarse un conjunto de delgadas fibras de vidrio, la llamada "lana de vidrio", y carbono en polvo. Este último es adsorbente, es decir, su superficie rugosa puede retener las impurezas. (Conviene señalar la diferencia entre adsorción y absorción. *Adsorción* indica, de hecho, el aumento de la concentración de las moléculas de un fluido sobre la superficie externa o sobre la superficie de las porosidades internas de un cuerpo sólido provocado por las atracciones moleculares; *absorción* indica, en cambio, la compenetración superficial de dos sustancias diversas, de las que una es llamada *absorbida* y la otra *absorbente*).

Los filtros físicos se utilizan en numerosas industrias para mantener bajo control el nivel de impurezas y de otros compuestos no deseados.

Filtros acústicos Eliminan los molestos zumbidos y silbidos en gran número de máquinas, desde los motores de automóvil a los compresores de aire. Existen dos tipos fundamentales: los filtros que bloquean los sonidos bajos, dejando pasar las altas frecuencias, y los filtros que, por el contrario, bloquean las altas frecuencias, permitiendo el paso de los tonos bajos. Una combinación de filtros para altas y bajas frecuencias puede servir para seleccionar una cierta gama de frecuencias, constituyendo el llamado *filtro de paso de banda*.

Uno de los filtros más difundidos para las bajas frecuencias es el silenciador de los automóviles, que elimina gran parte del zumbido del motor. Un silenciador está constituido por un contenedor metálico, que presenta un tubo en cada extremo. Los gases de descarga, a través de los cuales se propaga el ruido al exterior del motor, entran en el silenciador, donde son forzados a recorrer un camino sinuoso a lo largo del cual las ondas sonoras son absorbidas. Un silenciador bien diseñado logrará que el ruido del motor sea despreciable a través del tubo de escape.

Filtros Fluxa, S. A.

Junto a estas líneas, microfotografía de un medio filtrante hasta 0,05 micras. Este combina con el cribado una adsorción electrocinética, ya que posee una carga positiva capaz de retener las más pequeñas partículas cargadas negativamente. Arriba, cartuchos filtrantes de diversas formas.

A la derecha, dibujo en sección de un filtro desaceitante para la eliminación del aceite, del agua y de las impurezas sólidas en aire comprimido. El aire comprimido entra por la parte superior y sale por la superficie lateral siguiendo un flujo del interior al exterior. Los residuos aceitosos y las diversas impurezas se recogen en la parte baja del filtro, de la que son retiradas mediante descarga automática.

Filtros electrónicos Desarrollan un papel parecido a los acústicos y tienen a menudo una función similar. Análogamente a los filtros acústicos, existen filtros electrónicos capaces de actuar por encima o por debajo de ciertas frecuencias o de hacer pasar, en cambio, sólo ciertas bandas de frecuencia. Una diferencia entre ambos consiste en el hecho de que los filtros electrónicos tienen por lo común la finalidad de mejorar la claridad de la señal principal, —por ejemplo, la música de un aparato de radio—, "apantallando" y bloqueando las distorsiones, mientras que los filtros acústicos —como los silenciadores de los automóviles— están destinados a menudo a bloquear la señal principal, es decir, el ruido del motor.

Los filtros electrónicos suelen ser combinaciones de componentes, como las resistencias, (que bloquean el flujo de la corriente), los bobinados (que la inducen) y los condensadores (que la almacenan). El resultado es dejar pasar a través del sistema determinados niveles de corriente correspondientes a las frecuencias deseadas, bloqueando los otros.

Filtros ópticos Llamados también *filtros coloreados*, se usan en fotografía para controlar la luz que va a impresionar la película. Los hay de dos tipos: neutros y selectivos. Los primeros reducen solamente la intensidad de la luz, sin cambiar sus colores. Los espejos de doble vía, por ejemplo, desvían por reflexión de la luz, de modo que la cantidad de luz que consigue pasar se reduce.

Los filtros selectivos, por el contrario, absorben la luz de determinadas longitudes de onda. Un filtro amarillo, por ejemplo, es una lente de vidrio o de plástico que permite el paso de la luz amarilla, pero que absorbe la azul y la ultravioleta. La luz que pasa a través del filtro resulta, pues, más amarilla que la normal. Las gafas de sol representan ejemplos habituales y difundidos de filtros selectivos.

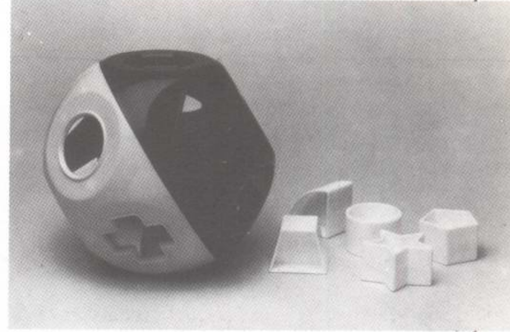
La función de los filtros Todos los filtros de cualquier tipo tienen en común el objetivo de depurar y seleccionar algo, eliminando los elementos indeseados. En numerosas acciones que efectuamos habitualmente sin prestar particular atención, como por ejemplo ponernos gafas de sol o hacer correr el agua del grifo, hacemos uso de filtros.

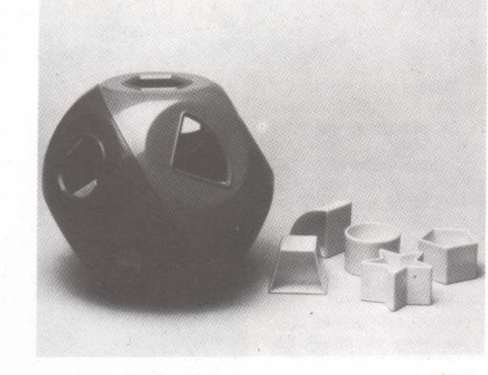
Véase **Agua, depuración; Aislantes térmicos; Insonorización; Máscara antigás**

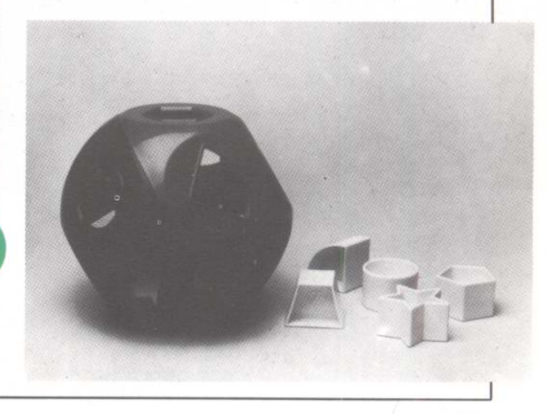
Arriba, a la derecha, esquema de un filtro de placas, empleado en los campos alimentario, químico y farmacéutico. A, salida del líquido filtrado; D, entrada del líquido que ha de ser filtrado.

Sobre estas líneas, cascos antirruido y antiexplosión, en los que se observa el material lanoso de relleno.

Abajo y a la derecha: efecto que los filtros ópticos (rojo y verde) tienen sobre las imágenes en blanco y negro que vemos.









Física

Alrededor de 1880, el presidente de la facultad de Física de la Universidad de Harvard, John Trowbridge, desalentaba a los nuevos estudiantes a comenzar los estudios en su facultad. Explicaba Trowbridge que los más importantes descubrimientos en el campo de la Física ya se habían efectuado, y que lo único que quedaba por hacer era perfeccionar algunas medidas, logrando unas cifras decimales más.

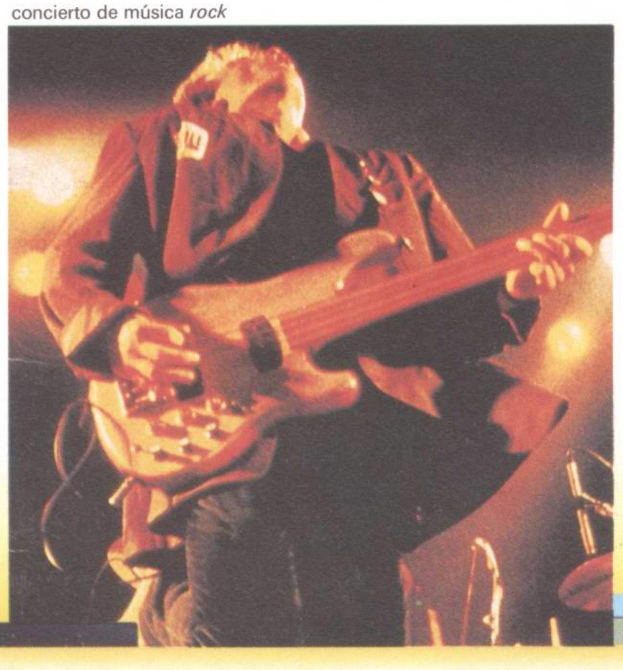
Trowbridge no podía estar más equivocado. En los siguientes veinticinco años la idea del mundo que muchos de sus colegas y él mismo tenían cambió totalmente: nuevos descubrimientos conmovieron los fundamentos de la ciencia (en todos los campos) de una forma tan radical como lo habían hecho anteriormente las teorías de Copérnico, Newton y Darwin. Para la Física esta revolución comenzó en el año 1900, fecha que marca la transición entre la *Física clásica* y la *Física moderna*.

Dicha revolución se manifestó contemporáneamente, pero de forma independiente, en dos áreas diferentes. La primera de éstas fue el reino de lo extremadamente pequeño, el mundo del *átomo*, que comprende partículas de materia poseedoras de propiedades extraordinarias. Los científicos han logrado profundizar en el conocimiento de las leyes que rigen el comportamiento (a veces muy extraño) de estas partículas, cuyo estudio se conoce como *Física de las partículas*, mientras que el estudio de las leyes que las gobiernan constituye la *Mecánica cuántica*. La segunda área en la cual se produjo un extraordinario avance fue la que trata de los cuerpos que viajan a velocidades extremadamente elevadas (cercanas a la de la luz), cuyo comportamiento no era posible explicar con las leyes de la Física clásica. A principios del siglo XX Albert Einstein formula la célebre Teoría de la Relatividad, estableciendo las leyes que rigen los fenómenos que tienen lugar bajo esas condiciones.

Naturaleza de la Física El objeto fundamental de la Física es el estudio de la materia que constituye el Universo y de las leyes que lo gobiernan. Para ello, los físicos observan fenómenos y tratan de establecer un sistema único de *leyes* que respondan a los hechos observados. Así, a finales del siglo XVII, Newton había demostrado que el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y la caída de una manzana al suelo se deben ambos al mis-

¿Por qué se mueve un tren o un vehículo, o por qué cae una maceta desde un balcón? ¿Qué fuerzas obligan a los planetas a recorrer órbitas determinadas alrededor del Sol? ¿Cuándo se mantiene un objeto en equilibrio y qué fuerzas son necesarias para moverlo? A todas estas preguntas contesta una parte de la Física: la Mecánica, que estudia las leyes y las causas que rigen el movimiento y el reposo de los cuerpos.

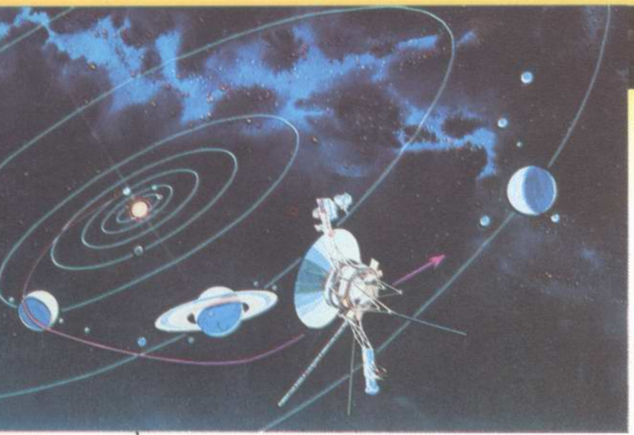
concierto de música *rock*



En el pasado, el calor se consideraba una entidad independiente. Actualmente se estudia como una forma de energía originada en transformaciones mecánicas, químicas, en la absorción de energía electromagnética, etc. El estudio del calor entra dentro de la Termología, constituyendo la Termodinámica su parte más importante. Esta se ocupa de las leyes relacionadas con el intercambio de calor y con el comportamiento de →

FISICA MACROSCOPICA NO RELATIVISTA

MECANICA ⟶ ACUSTICA ⟶ DINAMICA DE FLUIDOS ⟶



Voyager en el Sistema Solar.

Durante un concierto se producen sonidos con instrumentos musicales, se amplifica la voz humana y el sonido de los instrumentos: la rama de la Física que estudia esto es la Acústica, que en Física clásica se encargaba casi exclusivamente del sonido, de los fenómenos relacionados con él y de los instrumentos que lo producen y propagan; en Física moderna la Acústica entra en el campo más amplio de la Mecánica de los cuerpos elásticos, que incluye el comportamiento de los fluidos, conocido con el nombre de Dinámica de fluidos, cuya aplicación práctica aparece en el proyecto y construcción de tuberías, presas y construcciones navales y aeronáuticas.



presa de Assuán

mo fenómeno físico, la gravedad. De igual modo, un relámpago durante una tormenta, interferencias en la radio, la luz de las estrellas y del Sol que llega hasta nosotros e incluso la descomposición radiactiva de un átomo de cobalto son fenómenos que, como han demostrado los físicos, responden a distintas manifestaciones de una misma forma de energía.

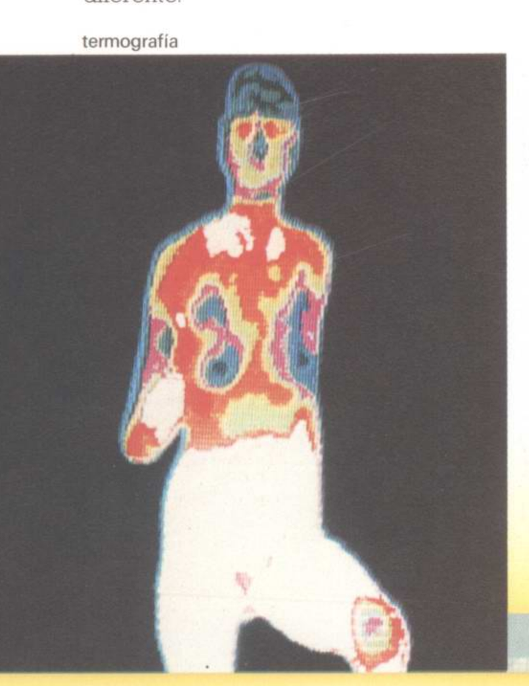
Sin embargo, la tarea es enormemente compleja porque, a escalas diferentes, los esquemas de comportamiento son muy distintos. En el nivel de lo extremadamente pequeño (Física de los fenómenos microscópicos), la materia se comporta de una determinada forma, mientras que a gran escala (Física de los fenómenos macroscópicos) el esquema de comportamiento de la materia es completamente diferente.

Imaginemos que nos encontramos en el centro de un denso bosque y que deseamos sacar una fotografía de lo que nos rodea. Se pueden enfocar, por ejemplo, unas hojas que se hallen muy cerca de nuestra cámara: en este caso todas las hojas del fondo quedarán desenfocadas; al contrario, si enfocamos un árbol lejano, todo lo que se encuentre cerca resultará desenfocado; y si, por último, se ajusta el enfoque sobre objetos que se hallen a media distancia, todo lo muy cercano o muy lejano aparecerá desenfocado. En pocas palabras, es imposible enfocar más de una categoría de objetos a la vez.

Algo similar es el problema con el que se enfrentan los físicos. Son muchos los puntos de vista y los aspectos desde los cuales se puede enfocar el estudio de la materia, y cada uno de ellos tiene sus propios métodos. El físico trata no sólo de establecer las leyes que gobiernan cada rama de su ciencia, sino también de averiguar si existen y cómo son las relaciones entre las distintas ramas. Por ejemplo: la gravedad puede estudiarse desde el punto de vista de sus efectos sobre el movimiento de los planetas o de sus causas a nivel subatómico. Hasta cierto punto estas dos formas de desarrollar el estudio pueden llevarse de manera independiente, pero la finalidad última de la Física es averiguar qué relación existe entre ellas.

Areas de la Física La rama de la Física que estudia los cuerpos materiales de mayores dimensiones es la Astrofísica. Esta ciencia se ocupa específicamente de las leyes físicas que rigen el comportamiento de los objetos celestes, como las

termografía



→ sistemas termodinámicos al variar las condiciones ambientales en las que se encuentran (temperatura, presión, etc.). Las termografías, la fusión de los metales, los fenómenos relacionados con la combustión, el funcionamiento de los motores térmicos, etc., entran en el campo de estudio de la Termodinámica. En 1827 el naturalista Brown, observando unos granos de polen en el agua, descubrió un fenómeno que hoy ↓

movimiento browniano

→ TERMOLOGIA → DINAMICA DEL CALOR → TEORIA CINETICA DE LA MATERIA



lingotes de acero en proceso de enfriamiento

↓ conocemos con el nombre de *movimiento browniano,* consistente en un incesante y caótico movimiento que afecta a las partículas de los gases. Fenómenos de este tipo son estudiados por la Teoría cinética de los gases, cuya finalidad es la de explicar las propiedades de los cuerpos como consecuencia de las propiedades de las moléculas y átomos que los componen.

estrellas, los *quasars*, las galaxias, la materia interestelar y, en general, de todo el Universo. La parte más fascinante de esta rama es la Cosmología, que estudia el origen, la evolución y el comportamiento del Universo.

La Astrofísica tiene en común con la Astronomía el estudio de los movimientos de los objetos estelares, pudiendo prever con asombroso grado de precisión su posición, o calcular las órbitas de los satélites.

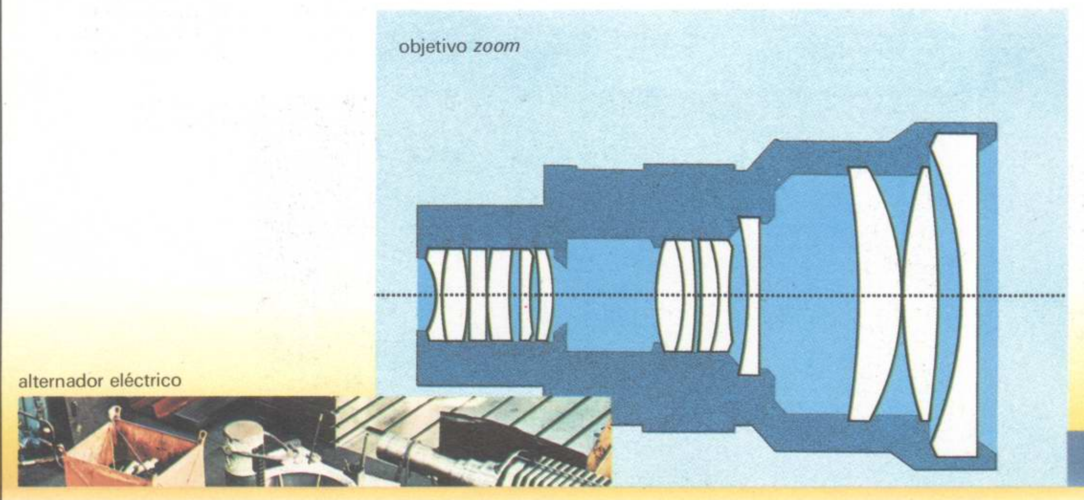
La rama de la Física que estudia la materia en las dimensiones que nos resultan más familiares es la *Física del estado sólido*, que explora las interacciones entre los átomos y las fuerzas que los enlazan a escala macroscópica. Esta rama de la Física coincide parcialmente con la Química, dado que una de sus finalidades es la de determinar las propiedades químicas de las sustancias a partir de las propiedades físicas de los átomos que las constituyen.

Otra rama de la Física que estudia la materia a escala macroscópica es la *Física del plasma*. Actualmente el plasma se estudia profundamente como posible fuente de energía para el siglo próximo (a partir de la fusión nuclear).

Muchas sustancias, cuando se hace descender su temperatura hasta valores extremadamente bajos, experimentan importantes alteraciones de sus propiedades. El estudio del comportamiento de la materia a temperaturas muy bajas se denomina *Criogenia* o *Física de bajas temperaturas*. Un ejemplo del campo de estudio de esta rama lo ofrece el efecto de superconductividad, caracterizado por la pérdida de toda resistencia al paso de la corriente eléctrica, que aparece en algunos metales y que posee importantes aplicaciones, como la construcción de potentes electroimanes o de líneas para la transmisión de energía con elevado rendimiento. Otro caso de comportamiento estudiado por la Criogenia es el del helio, que enfriado hasta una temperatura cercana al cero absoluto (–273 °C) se transforma en un superfluido con características sorprendentes.

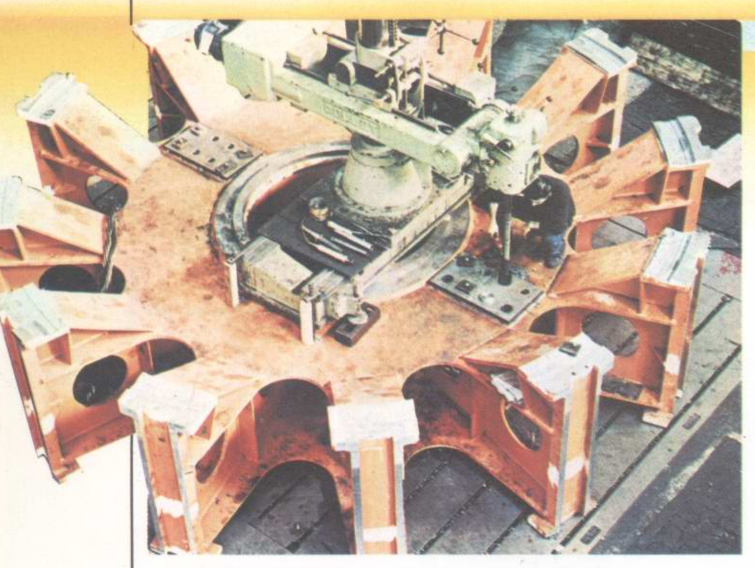
Por último, también otras ramas de la Física tratan aspectos de la materia a una escala que nos es familiar: la *Biofísica* estu-

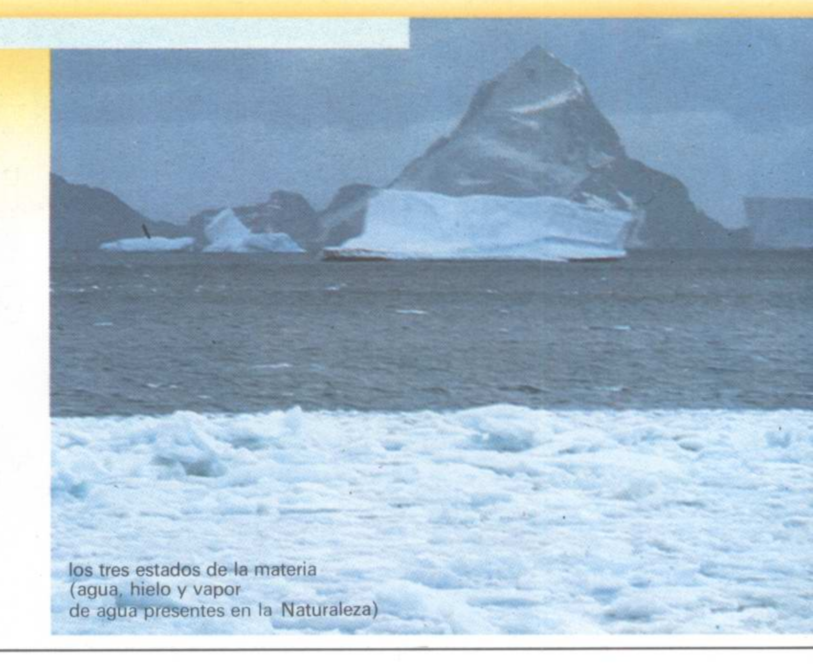
El Electromagnetismo es la parte de la Física que se ocupa de los fenómenos relacionados con las corrientes eléctricas y los campos magnéticos, estudiando las fuerzas y las acciones que se generan cuando interactúan. También el estudio de la propagación y de las propiedades de las ondas electromagnéticas entra en este campo. Aunque habitualmente, por razones históricas y didácticas, se considera la Optica (estudio de los fenómenos relacionados con la luz) como una rama independiente de la Física, dado que la luz es una radiación electromagnética, inevitablemente el Electromagnetismo y la Optica tienden a complementarse mutuamente.



alternador eléctrico

ELECTROMAGNETISMO ⟶ OPTICA DE LAS RADIACIONES ⟶ TEORIA DE LOS ESTADOS DE LA M





los tres estados de la materia (agua, hielo y vapor de agua presentes en la Naturaleza)

dia las leyes físicas que dan lugar o que influyen en los procesos biológicos (el biofísico estudia el funcionamiento de la membrana celular, la forma de operar de los impulsos nerviosos o la reacción de sustancias vivas cuando se exponen a diferentes radiaciones); la *Acústica* es la rama de la Física clásica que estudia el sonido como perturbación del aire; la *Optica* estudia la luz, y tiene muchas aplicaciones en el campo de la Optoelectrónica y de las fibras ópticas; la *Mecánica* comprende todo el estudio del movimiento de los cuerpos (esta rama de la Física clásica se divide tradicionalmente en *Cinemática*, o estudio del movimiento de los cuerpos independientemente de las causas que lo producen; *Dinámica*, o estudio de las relaciones entre el movimiento de los cuerpos y sus causas; y *Estática*, o estudio del equilibrio de los cuerpos); la *Termodinámica* es el estudio del calor considerado como forma de energía. Un avance importante en este último campo fue el motor de combustión interna, desarrollado en el siglo pasado. Los físicos se interesan también por el *Electromagnetismo* (interacción entre partículas cargadas y campos eléctricos y magnéticos): la luz es una forma de radiación electromagnética, como lo son las ondas de radio, el infrarrojo y el ultravioleta, los rayos X, la radiación gamma y los rayos cósmicos.

La Física del átomo En algunas ramas de la Física antes mencionadas no es necesario considerar la estructura de la materia a escala micróscopica: por ejemplo, cuando se estudia el movimiento de los planetas se puede ignorar la existencia de los átomos. Sin embargo, son muchos los fenómenos físicos en los que no se puede prescindir de la estructura íntima de la materia. A medida que se ha ido profundizando en ese estudio, una creciente complejización ha ido exigiendo una parcelación de la Física microscópica en ramas cada vez más específicas. Así, la *Física molecular* investiga los posibles modos que los distintos átomos tienen de enlazarse entre sí para dar lugar a grupos con idénticas propiedades (moléculas).

La *Física atómica* es, pues, el estudio del átomo en sí mismo, de su estructura y de

En la Tierra, la materia se encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso; una misma sustancia, según las condiciones de presión y temperatura, puede presentarse bajo cualquiera de estas tres formas: por ejemplo, el agua, a temperatura inferior a 0 °C, se vuelve sólida, mientras que se transforma en un gas por encima de los 100 °C; el hierro funde a 1.536 °C y entra en ebullición a 3.000 °C. Existe, sin embargo, un cuarto estado de la materia, en el cual los físicos están cada vez más interesados: el plasma. Su profundo conocimiento es indispensable para impulsar el desarrollo de la producción de energía por fusión nuclear. Esta fuente de energía, menos contaminante y más limpia que la de fisión, puede, en un futuro próximo, convertirse en uno de los principales recursos energéticos de la Humanidad.



cristal de rodocrosita y arseniopirita

corona solar en falso color

colada saliendo de un horno alto

sección de un *tokamak*

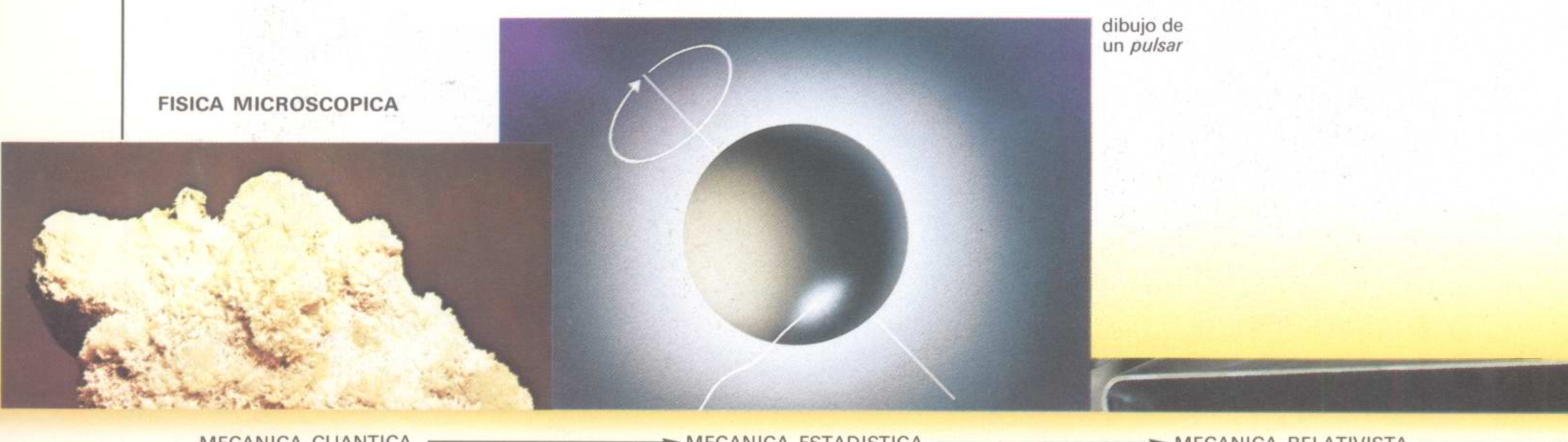
su comportamiento. Estudia la configuración electrónica del átomo: de qué forma los electrones rodean al núcleo, qué mecanismos tienen lugar para que emitan y absorban radiación, etc. La *Física nuclear* examina el núcleo del átomo, formado por protones, neutrones y otras partículas. El físico nuclear estudia la disposición de esas partículas en el núcleo, las fuerzas que las mantienen unidas, el modo en que los núcleos liberan energía en forma de radiactividad natural o bien debido a reacciones de fisión o fusión. Gracias a la Física nuclear, la Humanidad ha aprendido a aprovechar esta energía en los reactores nucleares, pero también a utilizarla en las armas atómicas.

La *Física de las partículas* comprende el estudio de las partículas fundamentales que constituyen la materia. Se conoce también con el nombre de *Física de altas energías*, debido a las elevadas cantidades de energía necesarias para crear las condiciones adecuadas que permitan su observación. Paradójicamente, ha sido necesaria la construcción de gigantescos aceleradores de partículas para estudiar los más pequeños constituyentes de la materia. En los últimos cincuenta años se han descubierto más de 100 partículas diferentes, algunas con propiedades insólitas. La Física de partículas tiene como objetivo identificarlas, clasificarlas y determinar las leyes que las gobiernan.

La *Mecánica cuántica* estudia las leyes que gobiernan el comportamiento de las partículas subatómicas, leyes que son muy diferentes de las que rigen en nuestro mundo macroscópico. Al igual que la Física de partículas, también la Mecánica cuántica es una rama de la Física que se ha desarrollado en el siglo XX.

Los ejemplos dados anteriormente son sólo algunos de los campos en los cuales los físicos investigan la Naturaleza. Físicos especialistas en áreas a veces muy dispares colaboran entre sí para encontrar la explicación a un determinado fenómeno. Por ejemplo, los físicos de partículas, que estudian la materia en sus dimensiones microscópicas, se encuentran frecuente-

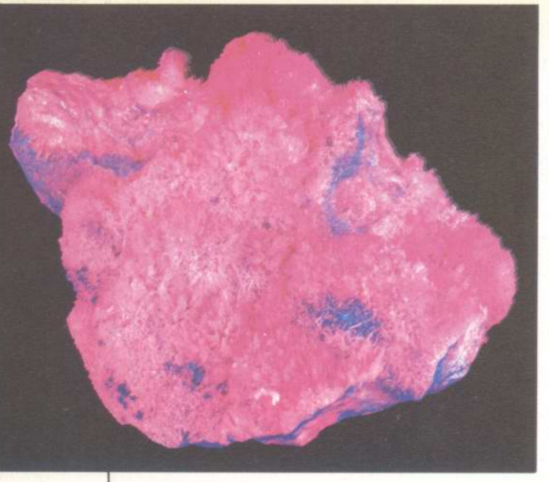
FISICA MICROSCOPICA



dibujo de un *pulsar*



aragonito iluminado con luz normal



aragonito iluminado con luz ultravioleta

La Física microscópica comprende la Física del átomo, la del núcleo y la de las partículas. El comportamiento de las fuerzas, de los campos creados por ellas y de los electrones, protones y partículas subatómicas no puede ser explicado por la Mecánica clásica. La Mecánica cuántica, sin embargo, ha permitido superar las dificultades con que se encontró la Mecánica clásica al intentar explicar algunos fenómenos relacionados con la estructura microscópica de la materia. Junto a la Física cuántica aparece la Mecánica estadística, cuya finalidad es explicar las propiedades de los objetos macroscópicos en función de las de sus componentes microscópicos. Por último, se ha de recurrir a la Mecánica relativista, que, enunciada teóricamente a principios de siglo, encuentra cada vez una mayor confirmación en el estudio de los núcleos atómicos y de las partículas, donde las velocidades se acercan a la de la luz, y la

mente colaborando con los astrofísicos, que en cambio estudian la materia en sus mayores dimensiones. Estas dos especialidades de la Física se reúnen para tratar problemas que requieren conocimientos característicos de cada una de ellas. Además, dado que muchas ramas de la Física interesan a otros campos de la ciencia, los físicos colaboran frecuentemente con matemáticos, químicos, biólogos, etcétera.

La finalidad de la Física Según Aristóteles, el primer físico fue Tales de Mileto, que en el siglo VI a. de C. mantenía que el Universo estaba formado de agua. Aunque su teoría pueda parecer hoy absurda, para los tiempos en que vivió Tales se puede considerar un gran avance, en el sentido de que trataba de explicar el conjunto entero de la materia por medio de un único principio físico no sobrenatural.

La teoría de Tales refleja también una fundamental sencillez de visión, que desde entonces sigue siendo común en los físicos: para cada físico, la especialidad a la que se dedica es una fuente de luz con la que se pueden ver las líneas estructurales sobre las que se basa la Naturaleza. Como dijo otro físico griego, Anaxágoras, el mundo de los fenómenos naturales es una ventana abierta a lo desconocido. Esas líneas estructurales se subdividen como la nervadura de una hoja, entrecruzándose a medida que se vuelven más finas. El sueño de un físico —y por extensión de cualquier científico— es descubrir no sólo las líneas estructurales sino también la forma en que estas líneas se entrecruzan e interrelacionan.

Véase **Acústica; Astrofísica; Atomo; Criogenia; Electricidad; Electromagnetismo; Electrónica; Estática; Física de fluidos; Física de partículas; Física de sólidos; Magnetismo; Magnetohidrodinámica; Mecánica; Mecánica cuántica; Optica; Relatividad, teoría general de la; Relatividad restringida ($E=mc^2$); Termodinámica**



fotografía de un haz de partículas en la que se aprecia el paso de un protón

arco voltaico incandescente

campo de fuerzas entre dos estrellas dobles muy cercanas

cómo aparecería la Tierra a un hipotético astronauta que viajase a una velocidad cercana a la de la luz



acelerador de partículas SPS del CERN

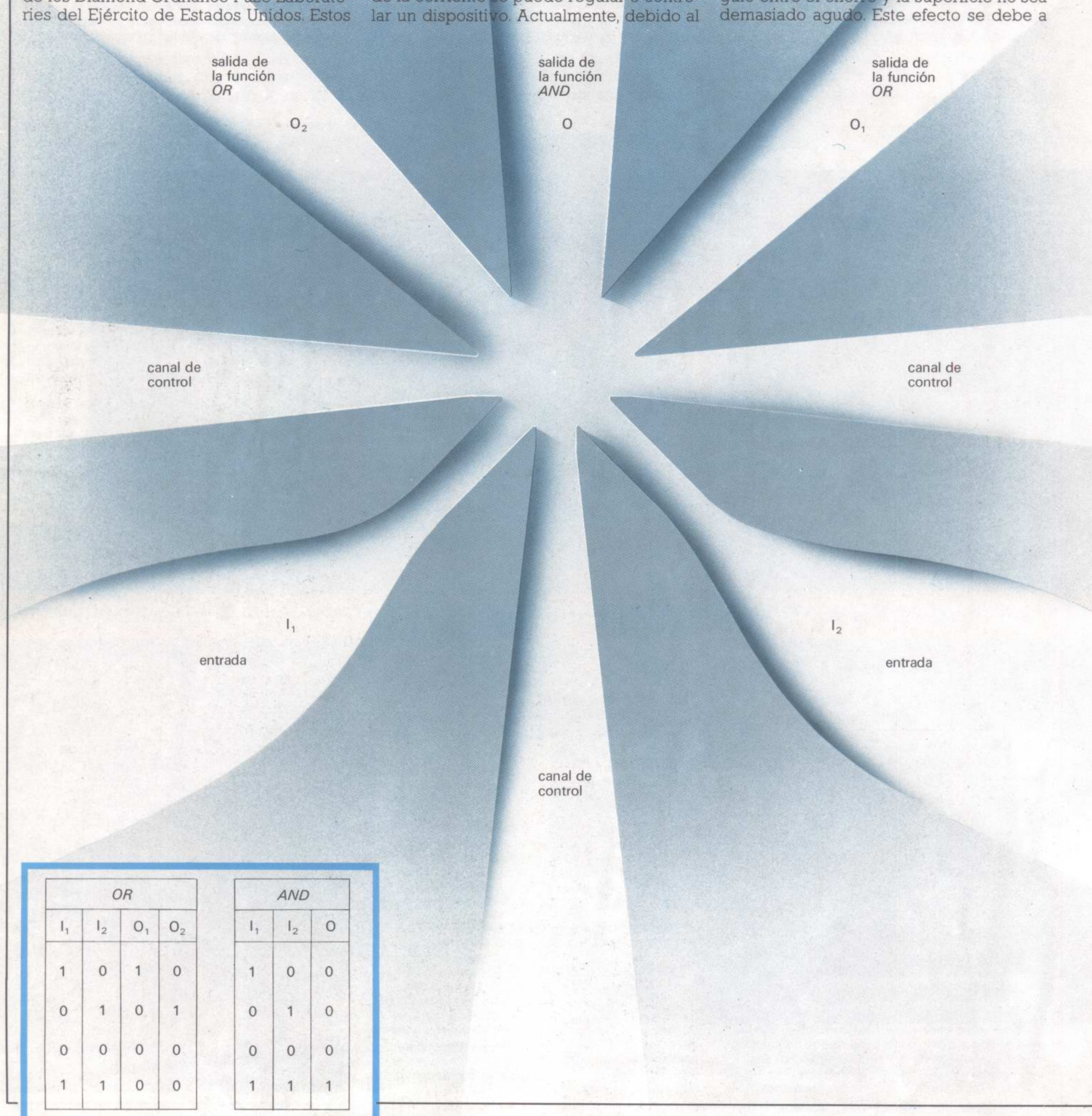
masa y la energía se vuelven equivalentes. La Electrodinámica cuántica, o sea, la aplicación de la Mecánica cuántica a la teoría del electromagnetismo, trata de llegar a la total comprensión de los mecanismos por medio de las cuatro fuerzas fundamentales del Universo: la nuclear fuerte, la electromagnética, la nuclear débil y la gravitacional. Actualmente, para intentar interpretarlas, los físicos trabajan en la detección de los "mensajeros" de estas fuerzas: mesones, fotones, bosones y gravitones. Son partículas que aparecen durante períodos de tiempo infinitesimales, pero que sin embargo pueden explicar importantes reacciones. Para estudiar estas partículas, las más pequeñas que se conocen, hay que crear unas condiciones de experimentación en las que puedan objetivarse; con esta finalidad se han construido las mayores máquinas que hoy existen: los aceleradores de partículas.

Física de fluidos

Desde el descubrimiento de los principios fundamentales de la electricidad, los científicos y los profesores han explicado a estudiantes y profanos que las corrientes eléctricas se comportan de forma parecida a las corrientes de aire o de agua. La Fluídica o Física de fluidos es un sector de la tecnología basado en el principio inverso, es decir, en que las corrientes de aire o de agua (ambos son fluidos) se comportan en determinadas circunstancias como las corrientes eléctricas.

La Fluídica empezó a desarrollarse en 1959 con el trabajo de los investigadores de los Diamond Ordnance Fuze Laboratories del Ejército de Estados Unidos. Estos investigadores realizaron los primeros dispositivos con fluidos basándose en descubrimientos que había hecho el ingeniero rumano Henri Coanda en los años veinte y treinta. En los años sesenta la Fluídica conoció una época de aplicaciones interesantes y se construyeron amplificadores, osciladores, ordenadores, medidores de caudal, sensores y válvulas para control de procesos, todos ellos basados únicamente en flujos de gases o líquidos. Las corrientes de fluidos se pueden manejar como señales, ya que, de forma similar a la corriente eléctrica, con la fuerza de la corriente se puede regular o controlar un dispositivo. Actualmente, debido al desarrollo de refinadas técnicas electrónicas, el interés por la Fluídica ha disminuido considerablemente.

El efecto Coanda La mayor parte de las aplicaciones de la Fluídica se basa en el *efecto Coanda*, cuyo nombre se debe a su descubridor. Coanda se dio cuenta de que un chorro uniforme de fluido, como un gas o un líquido, saliendo de un tubo con una cierta velocidad, tiende a adherirse a la superficie de algún objeto cercano. El fluido se "pega" a la superficie y corre a lo largo de ella, siempre que el ángulo entre el chorro y la superficie no sea demasiado agudo. Este efecto se debe a



OR			
I_1	I_2	O_1	O_2
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	0	0
1	1	0	0

AND		
I_1	I_2	O
1	0	0
0	1	0
0	0	0
1	1	1

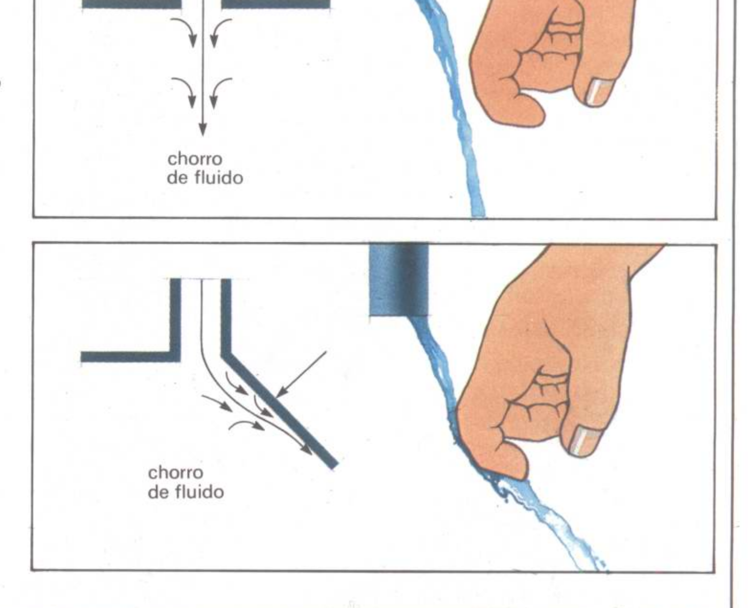
que el fluido arrastra las moléculas de aire que están a su alrededor. La consecuencia es la formación de un vacío parcial entre el chorro y la superficie, que se rellena con el mismo chorro, por lo que se adhiere a la superficie.

El efecto Coanda se utiliza en el circuito biestable común, llamado también *flip-flop*, un dispositivo que puede estar en uno de sus dos estados estables: con señal de salida *A* o con señal de salida *B*. El circuito biestable es en esencia un pequeño tubo —el tubo de alimentación— que se bifurca en dos ramas iguales, que corresponden cada una a una señal, *A* o *B*. Debido al efecto Coanda, el fluido procedente del tubo de alimentación se adherirá a una u otra de las dos ramas. Imagínense ahora dos pequeños agujeros en la zona de intersección, uno en la parte de la rama *A* y otro en la parte de la rama *B*. Para pasar una señal de la rama *A* a la *B* se abre el agujero opuesto a *B*, con lo que la depresión mencionada antes se establece solamente sobre la pared de *B* (ya que su agujero está cerrado) y en consecuencia el chorro se desviará hacia la rama *B* del circuito biestable.

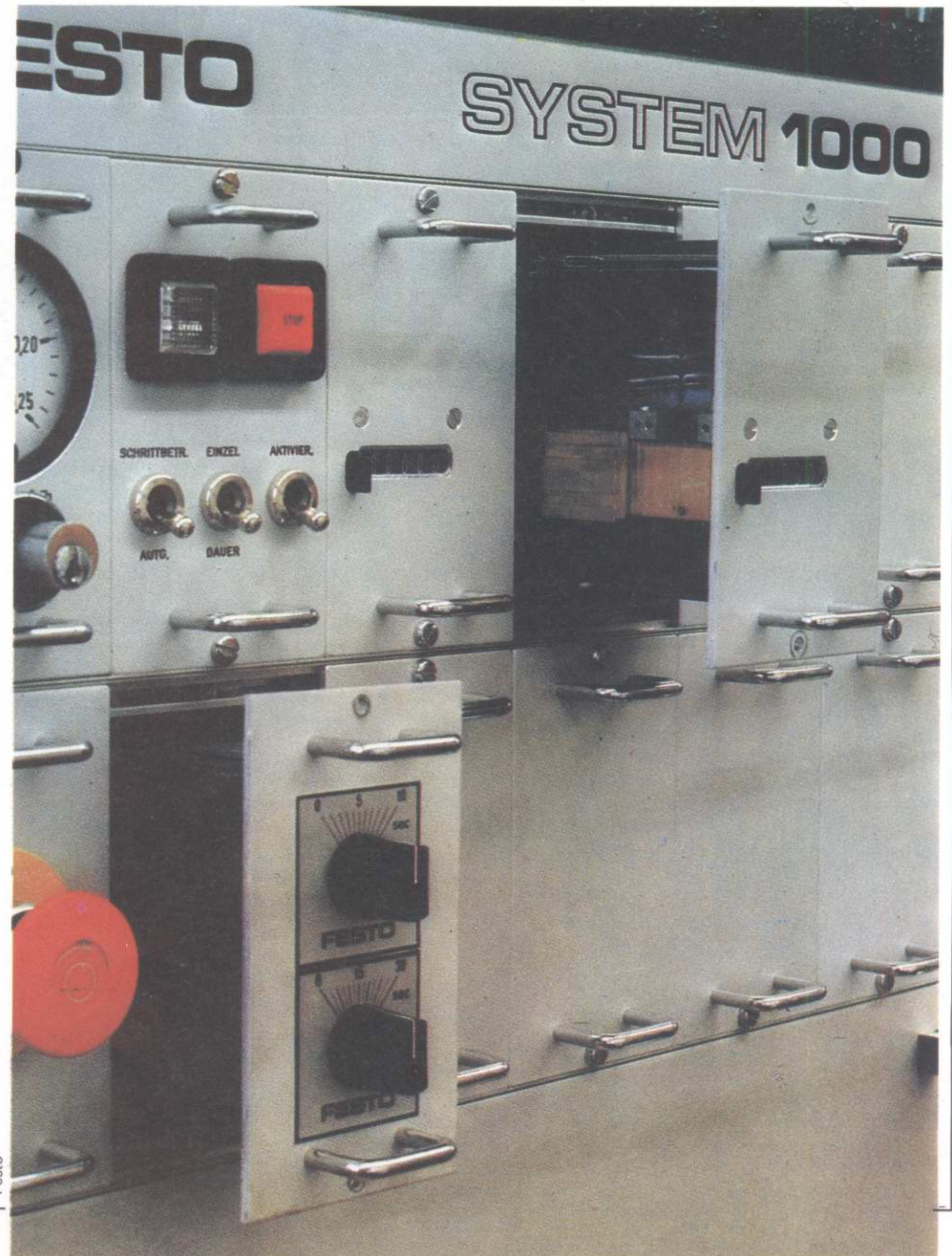
Aplicaciones de la Fluídica El circuito biestable y otros circuitos con fluidos son realizaciones físicas de circuitos lógicos y, por tanto, son matemáticamente idénticos a los circuitos electrónicos utilizados en los ordenadores para desarrollar las funciones lógicas *y* (*AND*), *o* (*OR*) y *no* (*NOT*). (El término *Fluídica* procede de la unión de los vocablos *fluido* y *lógica*). Los circuitos lógicos tienen un enorme campo de aplicación, especialmente en el control de procesos industriales. Los circuitos con fluidos son más lentos que los circuitos electrónicos, debido a que los gases y los líquidos se mueven con una velocidad menor que la electricidad. Igual que los circuitos electrónicos y al contrario que los eléctricos, no tienen partes en movimiento. Pueden utilizar cualquier tipo de fluido (aunque la mayor parte de ellos utilice aire), no tienen grandes limitaciones de dimensiones, se pueden realizar con cualquier material estampable, no experimentan alteraciones con las temperaturas altas, las vibraciones intensas o las radiaciones. Además, las radiaciones electromagnéticas de dispositivos cercanos no afectan a los circuitos con fluidos.

Se han realizado ordenadores que funcionan completamente con fluidos, para su utilización en ambientes con elevada intensidad de radiación, como reactores nucleares o cápsulas espaciales, donde son necesarios circuitos simples no electronicos para que resistan al envejecimiento. La Fluídica se utiliza también en los reactores de los aviones para controlar el caudal de aire comprimido y de combustible, y en sistemas de control de procesos hidráulicos industriales y de procesos a elevadas temperaturas.

Véase **Algebra de Boole; Cibernética; Circuito lógico; Datos, procesamiento de**



A la derecha, una esquematización del efecto Coanda, utilizado en los circuitos con fluidos. Se puede comprobar con un pequeño chorro de agua que salga del grifo, ya que al acercar el dedo índice ligeramente doblado, atrae el chorro, que lo bordeará. En la página anterior, esquema de un elemento lógico pasivo de un circuito fluídico, capaz de realizar las funciones *AND* y *OR*. En la tabla se han reproducido las distintas combinaciones de los valores de entrada y los correspondientes valores de salida. Bajo estas líneas, módulos para la introducción, proceso y extracción de señales en el campo de las bajas presiones.



Festo

Física de partículas

A principios del siglo XIX, el químico inglés John Dalton, al tratar de explicar el origen de las reacciones químicas, utilizó una olvidada teoría griega, según la cual los fragmentos "más pequeños" de materia tienen entidad física. Dalton habló de la existencia de pequeñísimos fragmentos de materia que, al igual que los griegos, llamó *átomos* ("no divisibles"), y esta teoría —con el tiempo— se impuso. Después se descubrió que el átomo, a su vez, está compuesto de fragmentos más pequeños de materia conocidos como *partículas subatómicas*, de cuyo estudio se encarga la *Física de las partículas elementales*.

El descubrimiento de las partículas elementales La primera partícula subatómica se descubrió en 1897. Ese año, el físico inglés J. J. Thomson demostró que el átomo contiene unas pequeñísimas partículas cargadas negativamente, que se han llamado *electrones*, y que también son los constituyentes fundamentales de la electricidad. En 1911 se averiguó que el átomo posee además un núcleo central cargado positivamente, mucho más pequeño que el resto del átomo. En 1920 se descubrió que el núcleo contenía *protones*, partículas cargadas positivamente con una masa 1.836 veces superior a la del electrón, y más adelante, en 1932, se averiguó que el núcleo, además de protones, contenía *neutrones*, partículas sin carga eléctrica y cuya masa es muy parecida a la del protón.

En la misma época se efectuaron experimentos que revelaron una configuración del átomo parecida a la de un sistema solar en miniatura, en el que los electrones giran alrededor de un núcleo (de masa mucho mayor que la de los electrones). Efectivamente, el núcleo, cuyo tamaño corresponde a sólo 1/10.000 - 1/100.000 del átomo entero, contiene casi toda la masa del átomo. Fue relativamente fácil para los físicos, empleando temperaturas elevadas y fuertes campos eléctricos y magnéticos, separar electrones del átomo. En cambio, fue mucho más difícil romper el núcleo. Para el estudio de esta parte del átomo son necesarios unos aparatos, llamados *aceleradores de partículas*, cuyo funcionamiento estriba en tomar un grupo de partículas, acelerarlas hasta velocidades muy elevadas y lanzarlas contra los núcleos. Cuando ocurren colisiones frontales, frecuentemente los núcleos se rompen en fragmentos, permitiendo a los investigadores averiguar algo de su interior: es como tener una caja que no se logra abrir con ningún medio y disparar contra ella para ver qué contiene.

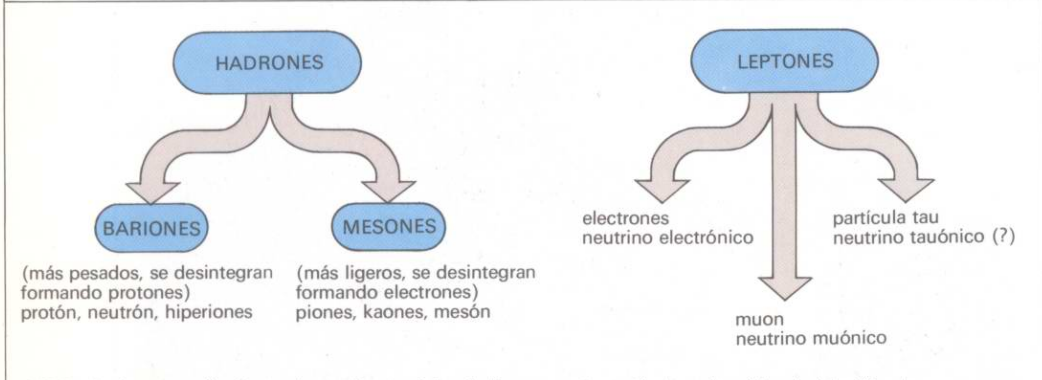
Cuando los científicos empezaron a usar aceleradores de partículas, se hicieron en seguida extraños descubrimientos. No sólo se separaron los protones y los neutrones, sino que aparecieron otras partículas que tenían tamaños muy variados y propiedades completamente nuevas. Algunas tenían una vida sumamente bre-



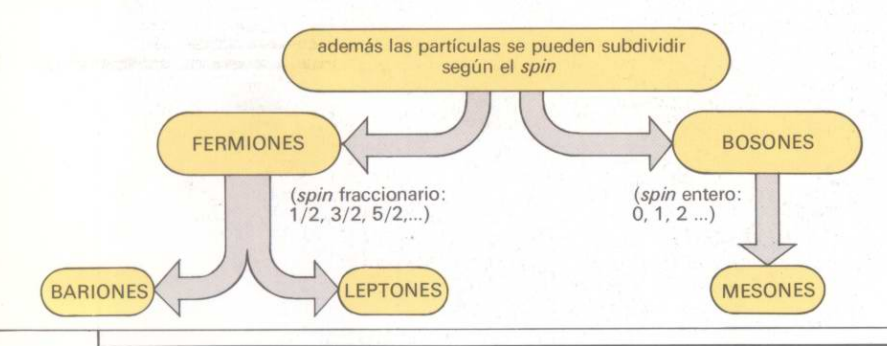
Erich Hartmann-Magnum

Cuando los primeros aceleradores de partículas empezaron a funcionar rompiendo núcleos, obtuvieron una gran cantidad de partículas: hoy en día se conocen alrededor de 200, muchas de las cuales de vida muy breve, desde algunas milmillonésimas de segundo hasta algunas milésimas de billonésima de segundo. Junto a estas líneas, la maraña de trayectorias dejadas en una cámara de burbujas del Fermilab. Los físicos tratan de interpretar estas trazas y de identificar las partículas participantes en los procesos nucleares bajo observación. En la parte inferior de esta página, dos formas de clasificar partículas subatómicas. En la página siguiente, abajo, una representación simbólica del núcleo, y, arriba, tabla de las principales partículas subatómicas.

CLASIFICACION DE LAS PARTICULAS SUBATOMICAS



NOTA: La interrogación junto al neutrino tauónico indica que esta partícula no ha sido aún identificada, pero se deduce su existencia por las reglas de simetría.





LAS PRINCIPALES PARTICULAS SUBATOMICAS

Grupo	Subgrupo	Partícula	Símbolo	Masa (MeV)	Carga	*Spin*	Vida media
hadrones	bariones	protón	p	938	+1	1/2	10^{31} años
		antiprotón	$\bar{p}$	938	−1	1/2	10^{31} años
		neutrón	n	940	0	1/2	15 min.
		antineutrón	$\bar{n}$	940	0	1/2	15 min.
	mesones	pion	$\pi+$	140	+1	0	10^{-8} s.
			$\pi-$	140	−1	0	10^{-8} s.
			π^0	135	0	0	10^{-15} s.
		kaón	K+	494	+1	0	10^{-8} s.
			K−	494	−1	0	10^{-8} s.
			K^0	498	0	0	10^{-10} s.
		mesón rho	$\rho+$	750	+1	1	10^{-23} s.
			$\rho-$	750	−1	1	10^{-23} s.
			ρ^0	750	0	1	10^{-23} s.
		psi	ψ	3.095	0	1	10^{-20} s.

Grupo	Partícula	Símbolo	Masa (MeV)	Carga	*Spin*	Vida media
leptones	electrón	e^-	0,511	−1	1/2	estable
	positrón	e^+	0,511	+1	1/2	estable
	neutrino el.	ν_e	0?	0	1/2	estable
	antineutrino el.	$\bar{\nu}_e$	0?	0	1/2	estable
	muon	$\mu-$	106	−1	1/2	10^{-6} s.
	antimuon	$\mu+$	106	+1	1/2	10^{-6} s.
	neutrino muónico	ν_μ	0?	0	1/2	estable
	antineutrino muónico	$\bar{\nu}_\mu$	0?	0	1/2	estable
	partícula tau	$\tau-$	1.800	−1	1/2	10^{-12} s.
	antipartícula tau	$\tau+$	1.800	+1	1/2	10^{-12} s.
	neutrino tauónico	ν_τ	0?	0	1/2	estable
	antineutrino tauónico	$\bar{\nu}_\tau$	0?	0	1/2	estable
	fotón	γ	0	0	1	estable

Familia	Color	Carga eléctrica
quark *u* (*up* = arriba)	rojo verde azul	+2/3
quark *d* (*down* = abajo)	rojo verde azul	−1/3
quark *s* (*strange* = extrañeza)	rojo verde azul	−1/3
quark *c* (*charm* = encanto)	rojo verde azul	+2/3
quark *b* (*beauty* = belleza)	rojo verde azul	−1/3
quark *t* (*truth* = verdad)	rojo verde azul	+2/3

ve, desapareciendo en pocas billonésimas de billonésima de segundo.

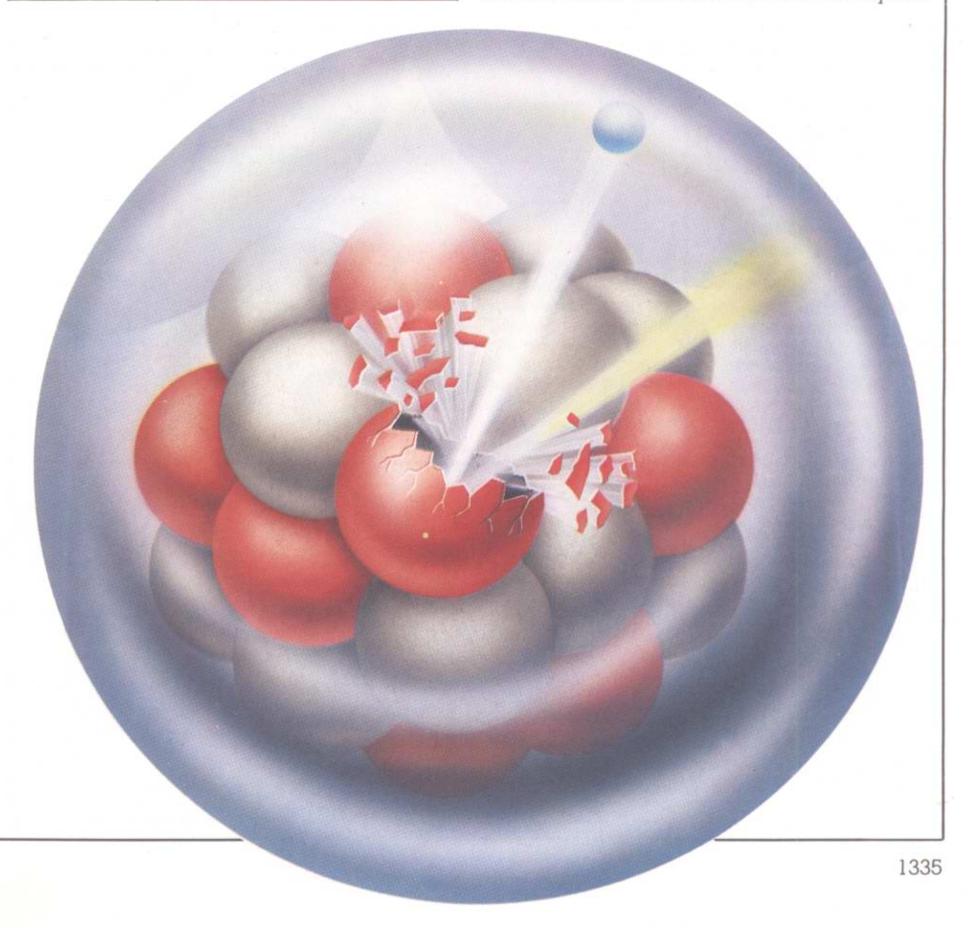
Además, se descubrieron las antipartículas, o sea, partículas con masa igual a las partículas conocidas, pero con carga eléctrica opuesta (aunque los neutrones y las demás partículas sin carga pueden tener también sus correspondientes antipartículas: en estos casos quedan invertidas otras propiedades). Cuando una partícula y su correspondiente antipartícula chocan, se anulan recíprocamente, liberando energía. Pero en nuestro mundo estas antipartículas aparecen muy raramente.

Uno de los principales problemas de los físicos es el número tan elevado de partículas identificadas. Sólo muy pocas de ellas —quizás menos de diez— se encuentran en la materia que forma nuestro mundo. El porqué existen las demás y cuáles son los principios que explican sus características son preguntas que siguen dejando perplejos a los científicos que se ocupan de la Física de partículas. Se han descubierto casi 200 partículas diferentes: actualmente ya no se consideran básicas, sino que se cree están formadas por otras más pequeñas. Así que una de las principales tareas de los físicos es la de aislar y estudiar los componentes fundamentales de esta serie de partículas; de todos modos, las teorías, en esta rama de la Física, son tan avanzadas que con frecuencia prevén la existencia de nuevas partículas mucho antes de su descubrimiento experimental.

Otro problema de la Física es comprender cuáles son las fuerzas con que se atraen o repelen las partículas entre sí. Parece que en la Naturaleza existen cuatro fuerzas fundamentales, de las cuales dos, la gravitatoria y la electromagnética, se pueden observar en la vida cotidiana. Las otras dos, la interacción "fuerte" y la interacción "débil", existen sólo en el interior del átomo, aunque actualmente esta última se considera un aspecto de la fuerza electromagnética.

Familias de partículas: leptones

Las familias fundamentales de partículas que constituyen la materia son tres: los *leptones*, los *quarks* y las partículas portadoras de las fuerzas fundamentales, denominadas *bosones*. El término *leptón*



deriva de una palabra griega que significa "aquello que es ligero", dado que inicialmente se consideraba que la característica común de estas partículas era su pequeña masa. Más adelante se descubrió que la masa no era en absoluto una característica distintiva, mientras que una de las cualidades fundamentales de los leptones es que no experimentan la interacción "fuerte". Dado que ésta es la fuerza que mantiene unido el núcleo, es evidente que en él no hay leptones. Otra de sus características fundamentales es su apariencia puntiforme, sin estructura interna alguna: parecen, efectivamente, indivisibles.

Se conocen tres pares de leptones, y cada uno de ellos está formado por una partícula y por un "neutrino" asociado a ella, y que, bajo ciertas condiciones, se crean juntos. Los neutrinos son tan ligeros que no es seguro que posean masa alguna.

El primer leptón que se descubrió fue el electrón. Los electrones son partículas relacionadas con los enlaces que se forman entre los átomos en una reacción química. La electricidad es, con frecuencia, simplemente una corriente de electrones, los cuales, por lo tanto, son de gran importancia en objetos de uso cotidiano como las bombillas eléctricas o los motores eléctricos. Los aparatos electrónicos, como los transistores, emplean medios más sofisticados para controlar el flujo de electrones. De todo ello se deduce que el electrón es algo muy importante para nuestro mundo, y también es el único leptón que tiene un papel muy significativo en la estructura de la materia.

Entre 1976 y 1978, los físicos se vieron de nuevo sorprendidos al descubrirse otro leptón. Se halló que su masa correspondía a la de 3.500 electrones, aproximadamente la de dos protones. Este leptón superpesado recibió el nombre de *tau* y, como sus hermanos, no posee estructura y tiene su neutrino asociado.

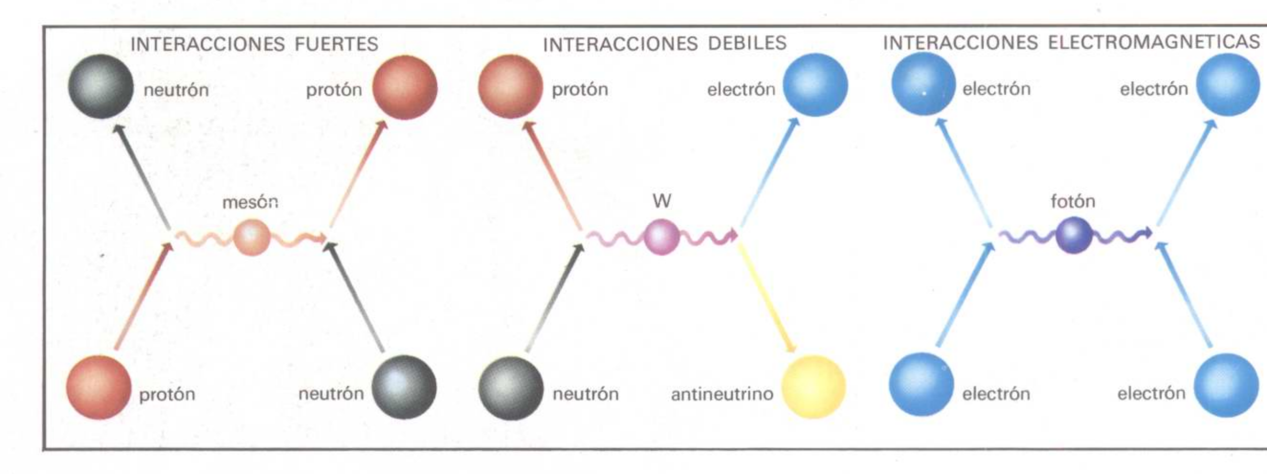
En conclusión, los leptones pertenecen a tres especies diferentes, así como existen las tres especies de las antipartículas correspondientes. Algunos científicos piensan que quedan aún leptones por descubrir; otros en cambio están convencidos de que sólo hay estas tres especies.

Quarks En correspondencia a los seis leptones existen seis quarks. Como los leptones, tampoco los quarks aparecen nunca solos, sino en parejas o tripletes. Cualquier partícula compuesta por quarks se conoce como *hadrón* (algo que es notablemente pesado); si un hadrón está compuesto por un quark y un antiquark, se llama *mesón* (del término griego que indica "intermedio", referido a su masa); si tiene tres quarks, como el protón y el neutrón, se denomina *barión* (del término griego que significa "pesado", haciendo referencia a su gran masa).

También los quarks, como los leptones, pertenecen a tres diferentes especies, cada una de las cuales está formada por quarks y antiquarks. La primera especie está compuesta por los quarks *"up"* ("arriba") y *"down"* ("abajo"), la segunda por los quarks *"strange"* ("extrañeza") y *"charm"* ("encanto") y la tercera por *"beauty"* o *"bottom"* ("belleza") y por *"truth"* o *"top"* ("verdad"). Los quarks se combinan de formas diversas y crean diferentes tipos de hadrones. Un protón, por ejemplo, está formado por dos *up* y un *down*, mientras que un neutrón lo está por dos *down* y un *up*. Son partículas especiales por muchos motivos, entre los cuales está el de poseer cargas eléctricas de valor fraccionario respecto a la del electrón.

Bosones y otras partículas Cada una de las cuatro fuerzas fundamentales emplea un intermediario, que realiza la función de "transmitir" la interacción entre las partículas para que se atraigan o se repelan, siendo este "intermediario" una partícula (bosón) diferente para cada tipo de interacción. Por ejemplo, se piensa que la atracción gravitacional se transmite por intermedio de un gravitón (hasta ahora no descubierto); la interacción electromagnética, por intermedio de fotones (en realidad se trata de fotones "virtuales", mientras que los de la luz son fotones "reales", aunque en algunos casos los virtuales pueden volverse reales). Cualquier partícula, por ejemplo un protón, puede ser virtual: esto significa que puede ser intercambiada tan rápidamente entre otras dos que su masa resulta diferente de su valor exacto previsto, debido al principio de indeterminación. La fuerza débil que afecta a los leptones y que está relacionada con ciertos tipos de radiaciones es transportada por bosones débiles, conocidos también como *bosones vectoriales intermedios*, mientras que la fuerza fuerte, que se observa entre los quarks y las partículas que éstos comprenden y que está relacionada con otros tipos de radiactividad, es transportada por gluones coloreados.

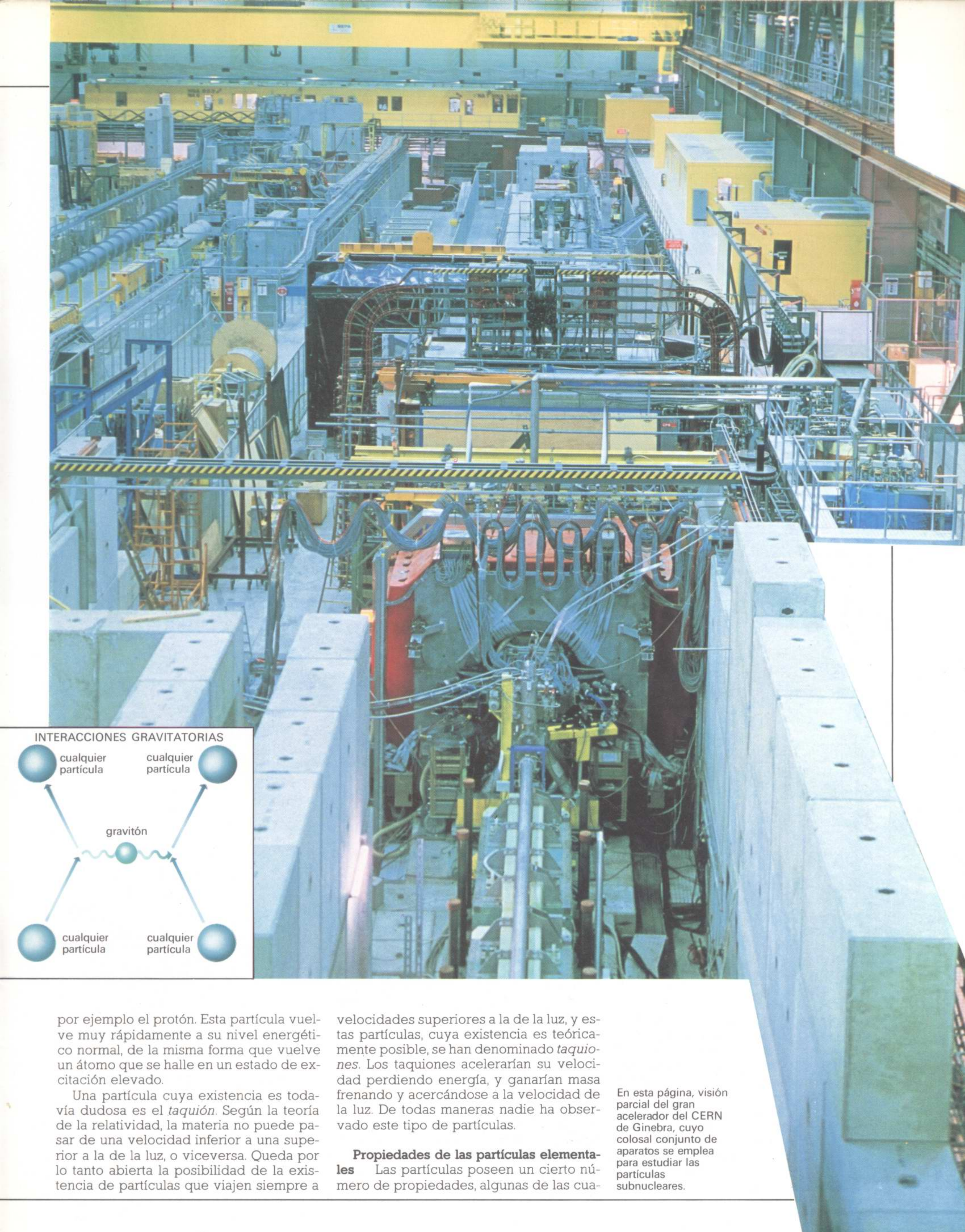
Según algunas teorías, estas cuatro fuerzas, así como las partículas que las soportan, eran idénticas entre sí en las primeras millonésimas de segundo después del *big bang* que dio origen al Universo. Sin embargo, al expandirse la materia después de esta explosión primordial, empezó también a enfriarse, iniciándose la diferenciación entre las distintas partículas y fuerzas.



A la derecha, las cuatro fuerzas fundamentales de la Naturaleza representadas con los "diagramas de Feynman". Los "intermediarios" de estas fuerzas son los mesones, los bosones vectores intermedios (W), los fotones y los gravitones. Los tres primeros han sido identificados experimentalmente y el último es aún teórico.

En 1937 se descubrió otro leptón, conocido como *muon*, cuya masa es 200 veces la del electrón. Parece un electrón muy pesado; también es puntual y no parece que tenga estructura. Su descubrimiento constituyó una verdadera sorpresa, ya que en este caso su existencia no estaba prevista por ninguna teoría, y, por otro lado, parecía del todo superfluo en la estructura del átomo. Como sucede con el electrón, también el muon está asociado con un neutrino.

Otro grupo interesante de partículas es el de las *resonancias*, de las cuales han sido observadas unos centenares. Las resonancias existen sólo durante tiempos extremadamente breves, pocas trillonésimas de trillonésima de segundo. No es posible observarlas directamente: se conocen sólo por pruebas indirectas. También estos objetos fugaces, pero reales, están constituidos por quarks. Una resonancia se puede considerar como el estado excitado de una partícula muy estable, como



por ejemplo el protón. Esta partícula vuelve muy rápidamente a su nivel energético normal, de la misma forma que vuelve un átomo que se halle en un estado de excitación elevado.

Una partícula cuya existencia es todavía dudosa es el *taquión*. Según la teoría de la relatividad, la materia no puede pasar de una velocidad inferior a una superior a la de la luz, o viceversa. Queda por lo tanto abierta la posibilidad de la existencia de partículas que viajen siempre a velocidades superiores a la de la luz, y estas partículas, cuya existencia es teóricamente posible, se han denominado *taquiones*. Los taquiones acelerarían su velocidad perdiendo energía, y ganarían masa frenando y acercándose a la velocidad de la luz. De todas maneras nadie ha observado este tipo de partículas.

Propiedades de las partículas elementales Las partículas poseen un cierto número de propiedades, algunas de las cua-

En esta página, visión parcial del gran acelerador del CERN de Ginebra, cuyo colosal conjunto de aparatos se emplea para estudiar las partículas subnucleares.

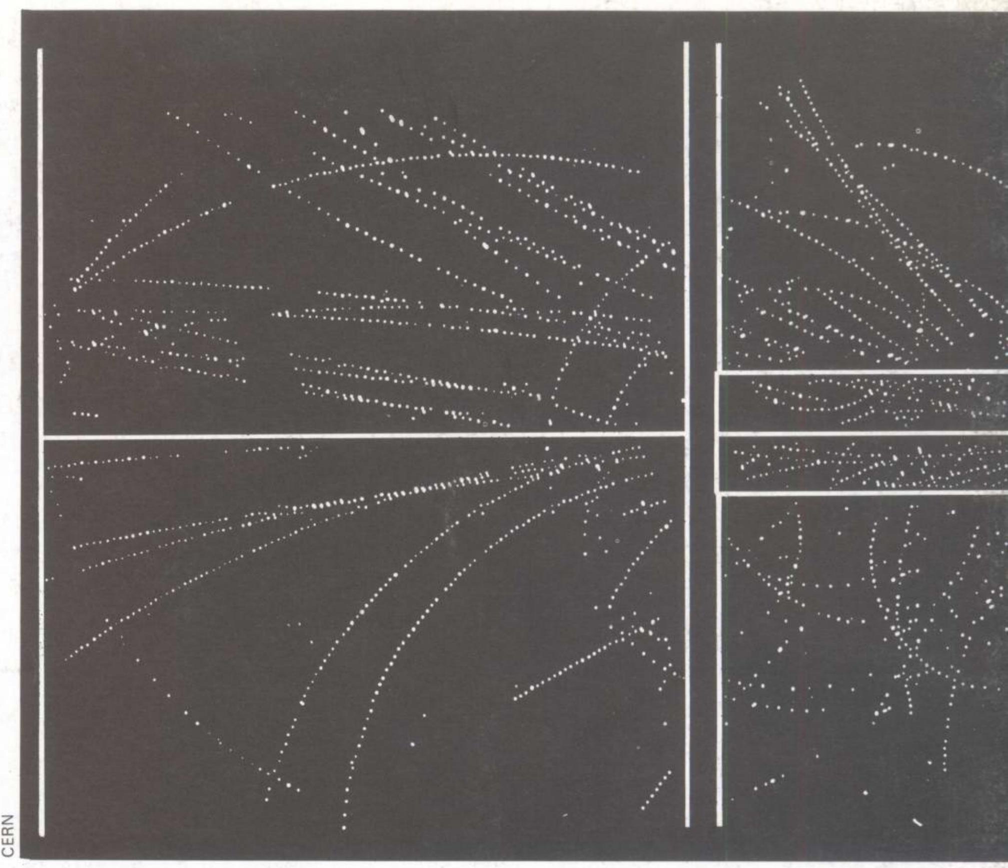
les pueden resultar más familiares que otras. Entre las más importantes está la masa, que, según la teoría de la relatividad, cambia al variar la velocidad. Por esta razón, los físicos prefieren hablar de la energía que posee una partícula, en lugar de hacerlo de su masa. Cuando se indica una masa, se refiere a condiciones de reposo, o sea, la masa de una partícula cuando no se está moviendo. Se sabe con seguridad que los fotones en reposo no tienen masa alguna (dado que viajan a la velocidad de la luz). En lo que se refiere a los neutrinos, se están llevando a cabo algunos experimentos para comprobar si estas partículas tienen o no masa.

Otra propiedad de las partículas es la carga eléctrica. Algunas partículas, como los neutrones y los neutrinos, no tienen carga eléctrica. Otras, como los electrones, tienen carga negativa, y otras, como los protones, positiva. La carga eléctrica de una partícula está *cuantizada*, que es una forma particular de decir que se presenta sólo en múltiplos de ciertos valores.

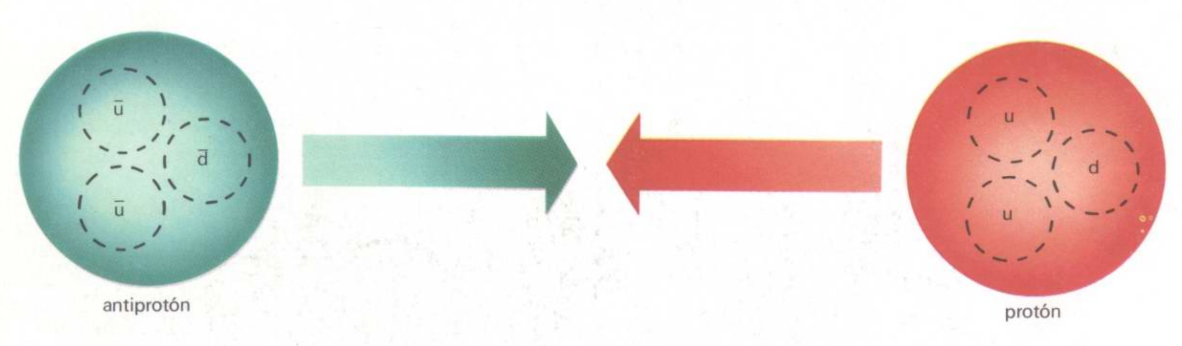
Otra propiedad cuantizada de las partículas es el *spin*, movimiento de rotación. Propiedades de las partículas son también la *extrañeza*, el *momento magnético*, la *paridad* y el *número bariónico*. Además, a cada partícula se le atribuye un símbolo que deriva del alfabeto inglés o del alfabeto griego, con el tipo de carga eléctrica normalmente indicada como un exponente: el pion positivo, por ejemplo, se indica con π^+. En cambio los neutrinos llevan un subíndice, que indica si se trata de neutrinos-electrones (ν_e); neutrinos-muones (ν_μ); o neutrinos-tau (ν_τ).

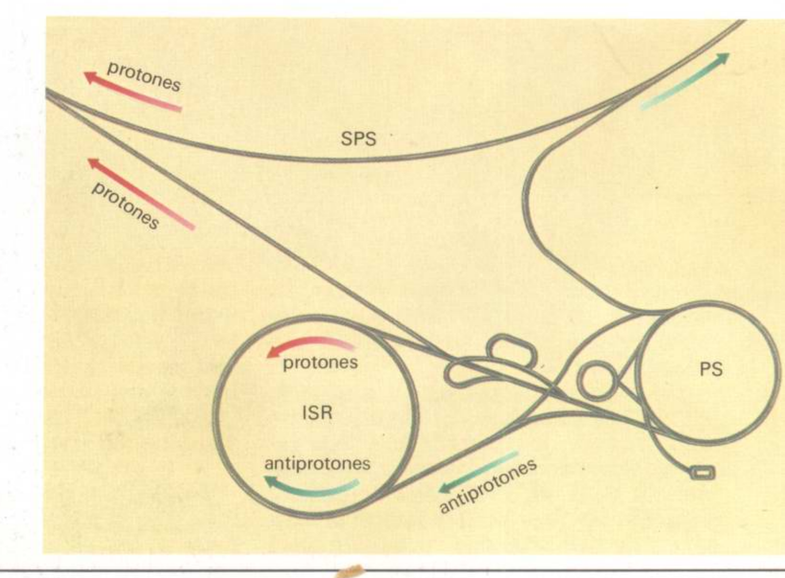
Todas las partículas se pueden agrupar en dos grandes grupos, según su spin. Si una partícula tiene un spin entero (0, 1, 2, 3,...), se llama *bosón*: los mesones, los gluones y los fotones son bosones. Si lo tiene semientero (1/2, 3/2, 5/2,...), se llama *fermión*: los bariones y los leptones son fermiones. Los bosones y los fermiones tienen un comportamiento colectivo muy diferente: mientras que muchos bosones pueden ocupar el mismo estado cuántico, sólo puede haber un fermión en un estado cuántico determinado.

Algunas de las propiedades indicadas anteriormente se conservan, es decir, que en toda interacción entre varias partículas



Sobre estas líneas pueden verse varias placas con numerosas trazas de partículas, que han demostrado por primera vez la existencia del bosón W. La flecha indica la estela dejada por la desintegración de este bosón.





Haciendo colisionar protones y antiprotones a elevadas energías, Carlo Rubbia ha logrado "capturar" el bosón W, intermediario de las fuerzas débiles. Los haces de protones y antiprotones son el producto final de una serie de reacciones obtenidas en varios anillos aceleradores conectados entre sí. Por último, se hacen colisionar los haces, haciéndoles seguir trayectorias opuestas a lo largo del gigantesco anillo SPS.

Para tratar de registrar la desintegración del protón, se ha construido el detector NUSEX, formado por capas de hierro alternadas con capas detectoras, tubos llenos de gas inerte. A la derecha, visión lateral de los lados del instrumento.

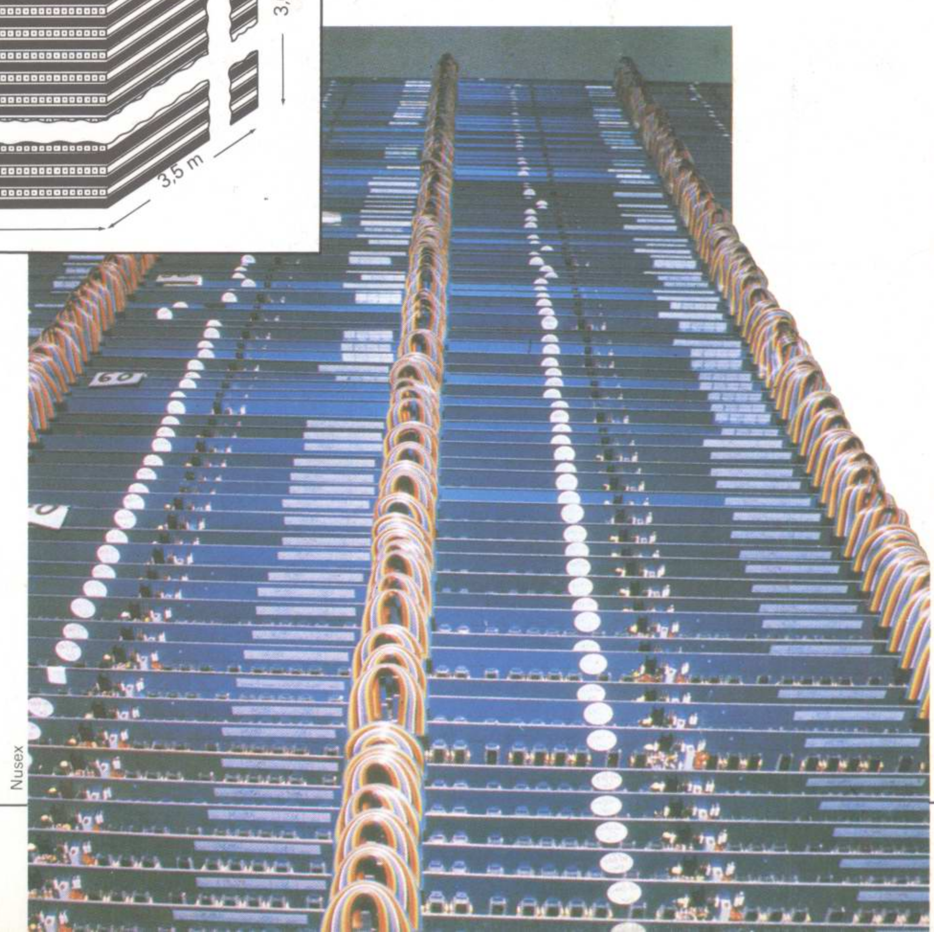
capas de hierro
capas de detectores
3,6 m
3,5 m
3,5 m

o en las transformaciones de unas en otras la cantidad total de esa propiedad no varía. Las leyes de conservación han contribuido a organizar la Física de las partículas elementales. Un ejemplo lo tenemos en la ley de conservación de la masa-energía. De acuerdo con la fórmula de Einstein ($E = mc^2$), la energía se puede transformar en masa y viceversa. Están además la ley de conservación del momento, o sea de la cantidad de movimiento de un cuerpo, y la ley de la conservación de la carga eléctrica.

Desintegración de las partículas Son muy pocos los tipos de partículas elementales de gran duración. La mayor parte de las partículas dura muy poco. Los neutrones, por término medio, se desintegran en 12 minutos originando un protón, un electrón y un neutrino. Muchas de las partículas "estables" (son llamadas así en comparación con las otras de vida mucho más breve), como el pion, la tau y la lambda, "viven" sólo milmillonésimas o billonésimas de segundo. Los electrones, en cambio, se consideran realmente estables, es decir, se piensa que no llegan a desintegrarse nunca.

Durante mucho tiempo, el protón fue también considerado realmente estable. Actualmente se ha aventurado la hipótesis de que se transforme en leptones y neutrinos, aunque esto ocurriría después de muchos billones de trillones de años. Las implicaciones en este caso son enormes: si el protón es inestable, llegará el día en que todos los núcleos atómicos se descompondrán. Dicho de otra manera, significa que el Universo está destinado a acabar. Pero la fecha de esta descomposición está tan lejana, que para entonces la Tierra habrá desaparecido por otras inevitables razones, como por ejemplo la extinción del Sol.

Véase **Atomo; Fuerza y campos de fuerzas; Neutrino; Quark**



Nusex

Física de sólidos

Algunos cristales, como el diamante y el zafiro, son raros y por lo tanto muy apreciados; otros cristales, como el azúcar, la sal y los granos de arena, son más corrientes. Tanto si son raros como abundantes, casi todos los sólidos están formados por *cristales*. La materia sólida no cristalina, como el vidrio, se llama *amorfa*.

Del estudio de las propiedades de los sólidos se encarga la *Física de los sólidos*. Como todas las ramas de la Física, ésta también estudia las interacciones entre elementos mínimos de materia y las fuerzas que los mantienen unidos. Sin embargo, la Física del estado sólido es una rama particular, dado que no se ocupa del átomo en sí mismo (como hace la *Física atómica*) o del núcleo del átomo (como la *Física nuclear*), o de las partículas en el interior del núcleo (*Física de las partículas elementales*), sino del comportamiento de los átomos en una gran masa de materia. La Física del estado sólido llena el hueco que existe entre la Física y la Química, dado que trata de explicar las propiedades químicas en función de las propiedades físicas de cada átomo.

Constituyentes de los sólidos y fuerzas La unidad básica de los sólidos, como la de toda la materia, es el átomo. En un átomo, en condiciones normales, un cierto número de partículas cargadas negativamente —*electrones*— giran alrededor de un número igual de partículas cargadas positivamente —*protones*— que se encuentran concentradas en un núcleo; éste, además, contiene partículas sin carga llamadas *neutrones*. Dado que el número de cargas positivas y negativas es el mismo, un átomo es habitualmente neutro. Cuando los átomos se unen entre sí formando un grupo que actúa como un elemento único, se dice que constituyen una *molécula*.

La fuerza que une los átomos entre sí es de naturaleza eléctrica y, cuando en un átomo se rompe el equilibrio numérico entre cargas positivas y negativas, el átomo queda cargado eléctricamente y se

Zeiss, Oberkochen

FISICA DE LOS SOLIDOS

ESTRUCTURA Y DEFECTOS CRISTALINOS

- Cristalografía
- Energías del retículo
- Termodinámica de la creación de los defectos
- Constantes elásticas de los sólidos
- Capacidad térmica y modelo de Debye
- Difusión

La observación a simple vista de un cristal puede dar una cierta información, pero desde luego no puede revelar su estructura más íntima. Con la ayuda del microscopio electrónico ya se puede descubrir algo más: por ejemplo, la foto que sirve de fondo a esta página es la imagen de un monocristal de turmalina tal y como se observa en un microscopio electrónico de gran

TEORIA

SOLIDOS Y RADIACIONES

- Teoría de los centros de color
- Teoría de los excitones
- Fotoconductividad
- Luminiscencia
- Espectros de absorción
- Efectos electroópticos

ELECTROMAGNETISMO EN LOS SOLIDOS

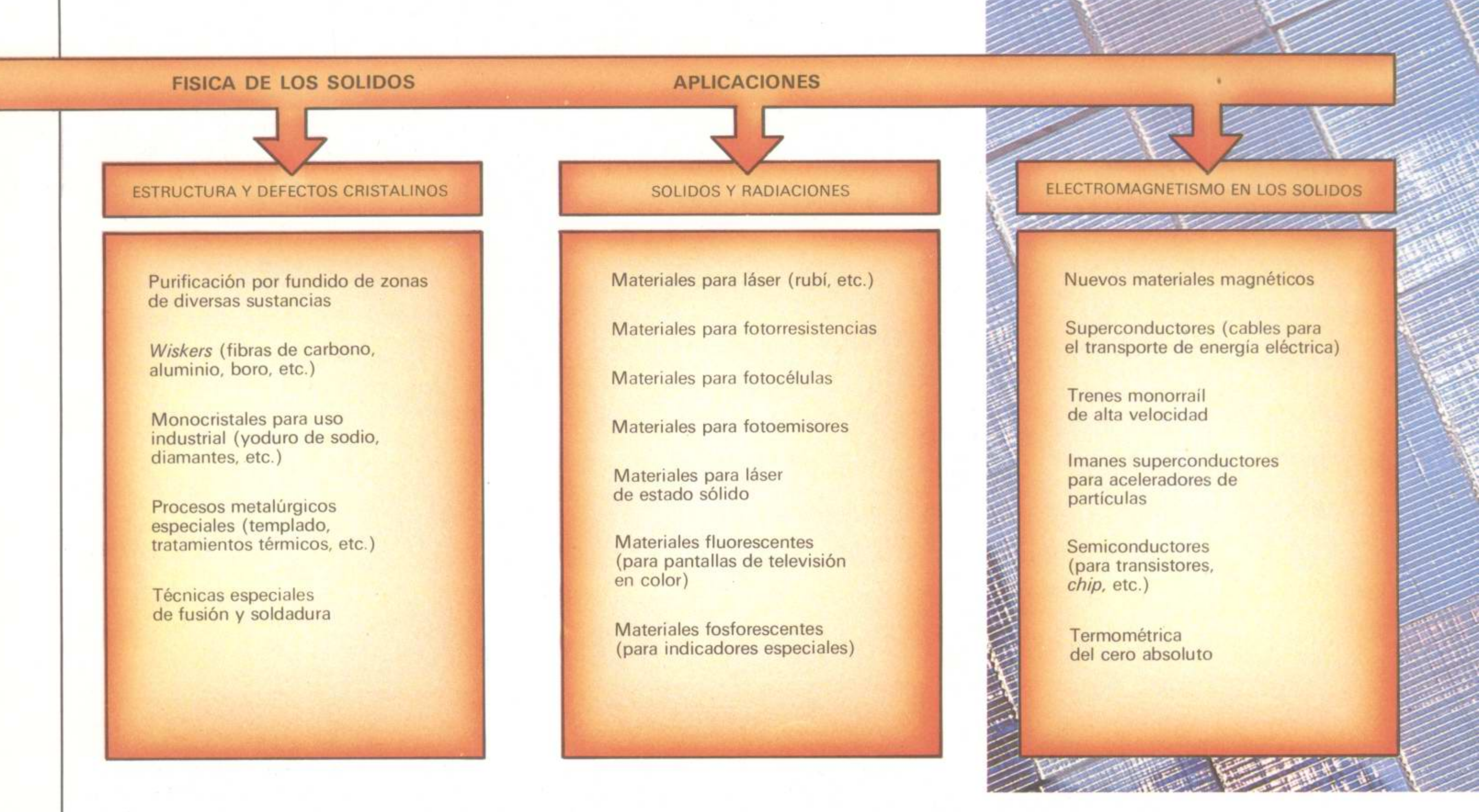
- Teoría de la conducción en los metales y en los semiconductores
- Teoría de bandas de los sólidos
- Modelo de los metales con electrones libres
- Ferromagnetismo
- Antiferromagnetismo
- Paramagnetismo
- Diamagnetismo
- Propiedades dieléctricas de los sólidos

PROPIEDADES TERMICAS DE LOS SOLIDOS

- Superconductividad
- Superfluidez
- Conducción térmica

amplificación.
Sin embargo, si se quiere conocer mejor la estructura de una sustancia cristalina o, teniendo polvo de un cristal, conocer su origen, se puede recurrir al método de Debye para obtener un diagrama de polvo como el mostrado arriba. El método lo puso a punto el físico holandés P. J. Debye, aprovechando la difracción de los rayos X por parte de una sustancia cristalina. La red a examinar, pulverizada, se pone en un tubo de cristal en el centro de una cámara fotográfica cilíndrica (dibujo de la izquierda): los cristales que constituyen el polvo difractan los rayos X, que producen en la película fotográfica arcos elípticos; a partir de la posición de las líneas es posible averiguar la distancia de los planos en los que se encuentran los átomos del cristal y establecer su estructura. Para medir la amplitud de los arcos, se emplean microfotómetros, que permiten mediciones muy rápidas y exactas. Arriba puede verse la diversidad de aspectos que abarca la Física de sólidos.





denomina *ion*. Los átomos de sodio, por ejemplo, tienen tendencia a perder electrones y por lo tanto a formar iones positivos (*cationes*), mientras que los átomos de cloro tienden a conseguir un electrón más y a formar iones negativos (*aniones*); dado que cargas opuestas se atraen, ambos dan origen a un compuesto (el cloruro sódico, o sea, la sal común de cocina) que consiste en una configuración de iones de sodio y de cloro tal que cada ion de un tipo se encuentra rodeado por seis iones del otro tipo. Los cristales constituidos por iones formados de esta manera se denominan *cristales iónicos*.

En los cristales moleculares la fuerza de atracción es diferente, aunque sigue siendo de naturaleza eléctrica: los electrones de una molécula pueden disponerse de forma no simétrica, de manera que un extremo de la molécula tiene una pequeña carga negativa, mientras que el otro la tiene positiva, aunque la molécula por sí misma no sea un ion. Sin embargo, estas pequeñas cargas son suficientes como para mantener unidas las moléculas —o, en algunos casos, los átomos— entre sí a temperaturas bajas, es decir, cuando las moléculas no se mueven tan rápidamente como para romper los enlaces que las unen. Otros tipos de enlaces eléctricos se forman en los *cristales metálicos*.

Los físicos del estado sólido tratan de determinar no sólo la manera en que las fuerzas eléctricas mantienen unidos entre sí átomos y moléculas en los sólidos, sino también cómo estos enlaces dan origen a las propiedades físicas del sólido, que incluyen el punto de fusión, la capacidad de conducir el calor y el comportamiento bajo la acción de tensiones y esfuerzos. Sin embargo, actualmente la mayor parte del esfuerzo se dirige al estudio de las estructuras cristalinas mismas y a la determinación de cómo las *impurezas* en el interior de estas estructuras condicionan el movimiento de los electrones.

Cristalografía Se llama *cristal* a cualquier sustancia constituida por átomos colocados en una determinada disposición, que se repite en todo el cuerpo y que recibe el nombre de *retícula cristalina*. Lo que habitualmente se llama *cristal* es un mineral cuyas configuraciones moleculares ocupan un espacio lo suficientemente grande como para ser reconocido a simple vista. Sin embargo, en la mayor parte de las sustancias, dicha configuración se puede reconocer sólo a nivel molecular. No obstante, existen algunas sustancias que muestran rigidez y que no son cristales: el vidrio, aunque pueda parecer extraño, es una de ellas. Las moléculas del vidrio no siguen ninguna configuración particular y los científicos lo consideran un sólido amorfo o un líquido de viscosidad elevadísima.

Antes del siglo XX los científicos no tenían posibilidad alguna de determinar la disposición de los átomos en los cristales. Era posible estudiar su forma exterior, pero ésta no estaba necesariamente relacionada con la forma en que los átomos se ordenaban unos respecto a otros. En 1912 el físico alemán Max von Laue empleó los rayos X, radiación de alta energía capaz de atravesar las sustancias sólidas, para estudiar los cristales.

Cuando von Laue hizo que los rayos X atravesasen cristales, notó que se difractaban al pasar entre los átomos, y la figura de difracción que se obtenía en función del cristal fue la clave para reconocer la disposición de los átomos en el mismo. A veces los átomos absorben rayos X y emiten otros que son característicos del tipo de átomo; de esta manera el tipo de rayos X emitido permite identificar los átomos en el cristal.

Impurezas Los cristales que se encuentran en la Naturaleza, y también los crecidos en laboratorio, siempre tienen alguna impureza, que puede ser de diferentes tipos. Un tipo particularmente interesante para la Física de los sólidos se conoce con el nombre de *impurezas de sustitución*: se tiene cuando la posición de uno de los átomos del cristal está ocupada por un átomo de tipo diferente. Las impurezas de este tipo pueden influir sobre las propiedades de los materiales conocidos como *semiconductores*, favoreciendo sus aplicaciones prácticas.

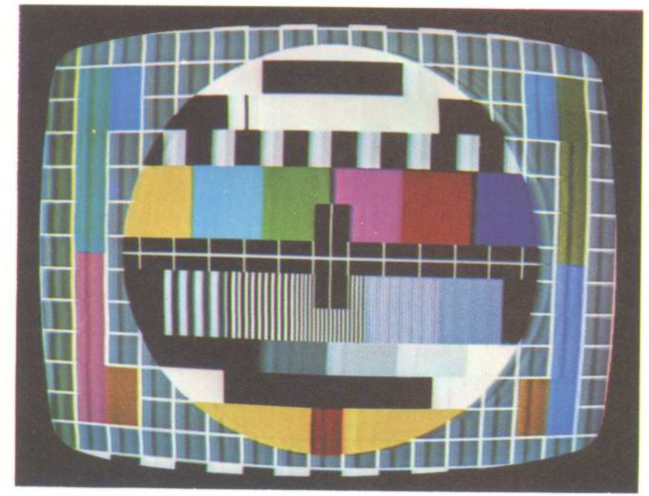
Los sólidos que conducen la electricidad se llaman *conductores*, mientras que los que no permiten el paso de electrones se llaman *aislantes*. Un conjunto extremadamente importante, intermedio entre éstos, es el de los semiconductores, sólidos cuya conductividad eléctrica varía en función de la temperatura y de otros factores, como el tipo de impurezas en sus crista-

El enorme avance que la Física de los sólidos ha realizado en el campo de los semiconductores está abriendo nuevas perspectivas en la tecnología de las computadoras y de las células solares para la producción de energía eléctrica.

les. Cuando las impurezas se introducen deliberadamente en los semiconductores, se habla de *dopaje*. Una gran parte de la Física moderna de los sólidos se ocupa de las diferentes formas en las que es posible dopar los cristales y de los efectos del dopaje sobre el paso de los electrones por el cristal.

Los dos tipos principales de dopaje se conocen como *tipo N* y *tipo P*. En un semiconductor de tipo *N* es posible arrancar fácilmente los electrones a los átomos de las impurezas, mientras que en un semiconductor de tipo *P* los átomos de las impurezas producen "huecos" electrónicos que se mueven en el material; estos "huecos" se comportan como cargas positivas. Los dos tipos de dopaje facilitan el paso de la electricidad: en el primer caso, sobre todo suministrando electrones libres; en el segundo, aprovechando los "huecos" que permiten el paso de electrones. El dopaje ha alcanzado tal importancia en la industria de semiconductores, que se puede pensar en el cristal como en una estructura adecuada para soportar impurezas.

Componentes de estado sólido Los componentes electrónicos que usan para fines específicos el flujo de electrones a través de cristales se denominan *componentes de estado sólido* (para distinguirlos de los componentes electrónicos formados por tubos de vacío, que se usan para lo mismo). Son componentes de estado sólido; transistores, diodos, diodos emisores de luz (LED), láser de semiconductores, células fotoeléctricas y fotodiodos. Estos componentes son generalmente más pequeños, más ligeros, menos caros, más fiables y resistentes a los impactos y se pueden usar en condiciones muy diferentes en lugar de los tubos de vacío. Un elemento muy pequeño de cristal semiconductor (*chip*) puede contener decenas de millares de componentes.



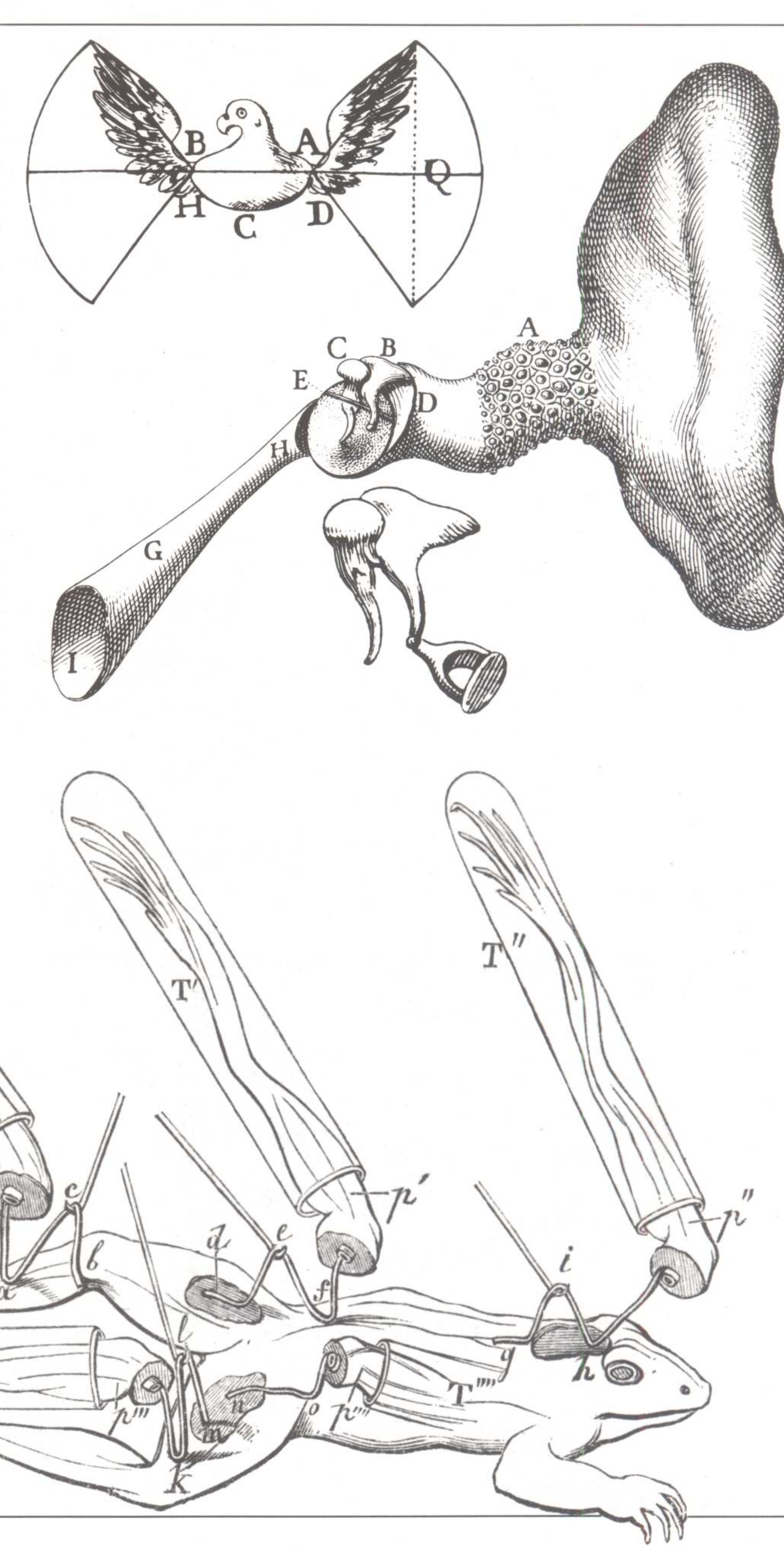
Los campos de aplicación de la Física de los sólidos son muy extensos y en estas pocas páginas sólo se puede dar una referencia de ellos en las tablas superiores. Las fibras de carbono, cada vez más perfeccionadas, muy resistentes y ligeras, son fruto de la Física de los sólidos. Con las fibras de carbono se construyen numerosas piezas de aviones, aunque en el futuro los aviones se fabricarán enteramente con fibras de carbono: la foto de arriba muestra un prototipo experimental. El análisis de sustancias fluorescentes forma parte de la tecnología de los televisores en color: para mejorar la visión de los colores se están estudiando siempre nuevas sustancias fluorescentes en las pantallas.

Véase **Cristales y Cristalografía; Enlace químico y valencia; Fluorescencia; Fosforescencia; Materia, estados de la; Semiconductor; Superconductor; Transistor**

Fisiología

La curiosidad y el espíritu de observación son dos características fundamentales de la actividad del fisiólogo, cuyo objeto de estudio se centra en los procesos y las funciones de los seres vivos. Las primeras interpretaciones de las funciones orgánicas se deben a médicos griegos y alejandrinos, que ya conocían la existencia de peces que producían descargas eléctricas. Los médicos romanos intentaron utilizar este fenómeno, precursor del electrochoque, para el tratamiento de algunas enfermedades.

La palabra *Fisiología* ("tratado de la naturaleza") fue acuñada por los antiguos griegos para referirse al estudio de los fenómenos naturales desde un punto de vista filosófico. El máximo exponente de esta joven ciencia fue Aristóteles, que introdujo el axioma clave de que las actividades de todos los seres vivos, por muy distintos que sean en apariencia, estarían gobernadas por unos principios generales. A partir del siglo XIX, en que se convierte en una ciencia esencialmente experimental, la Fisiología ha asumido un carácter interdisciplinario, relacionándose con la Anatomía, la Química y la Matemática. Es una ciencia práctica, que se ocupa del estudio de las funciones de las distintas partes y sistemas de los organismos animales (con frecuencia denominada "Anatomía en movimiento"), y que comparte sus descubrimientos con la Medicima, la Bio-



química, la Biofísica y la Biología molecular.

Ramas de la Fisiología A partir del punto de vista de los antiguos griegos se ha llegado a la *Fisiología general*, una rama de la ciencia que se basa en el principio de que las diferencias entre los animales son debidas fundamentalmente a variaciones de un número finito de funciones orgánicas. El fisiólogo general estudia los mecanismos que están presentes en todos los animales, tales como el fenómeno de la transmisión nerviosa a través de la sinapsis. La transmisión sináptica es la transferencia de impulsos eléctricos desde una terminación nerviosa a otra. Precisamente gracias al registro por parte del cerebro de esos impulsos nerviosos somos capaces de reconocer sensaciones como el dolor, el calor, el frío y muchas otras de mayor complejidad.

Una de las ramas principales de la Fisiología general es la Fisiología celular, ya que es la célula la unidad básica de todas las formas de vida animal. Partiendo de la célula, el fisiólogo celular intenta llegar a la comprensión del organismo en su integridad. Y así estudia, por ejemplo, la membrana plasmática de algunas células, dado que en la membrana tiene lugar el intercambio de iones responsables de la conducción de los impulsos nerviosos. Las diferentes respuestas de los órganos sensoriales encargados de la visión, el olfato, el gusto y el tacto dependen de intercambios selectivos de iones a lo largo de la membrana celular.

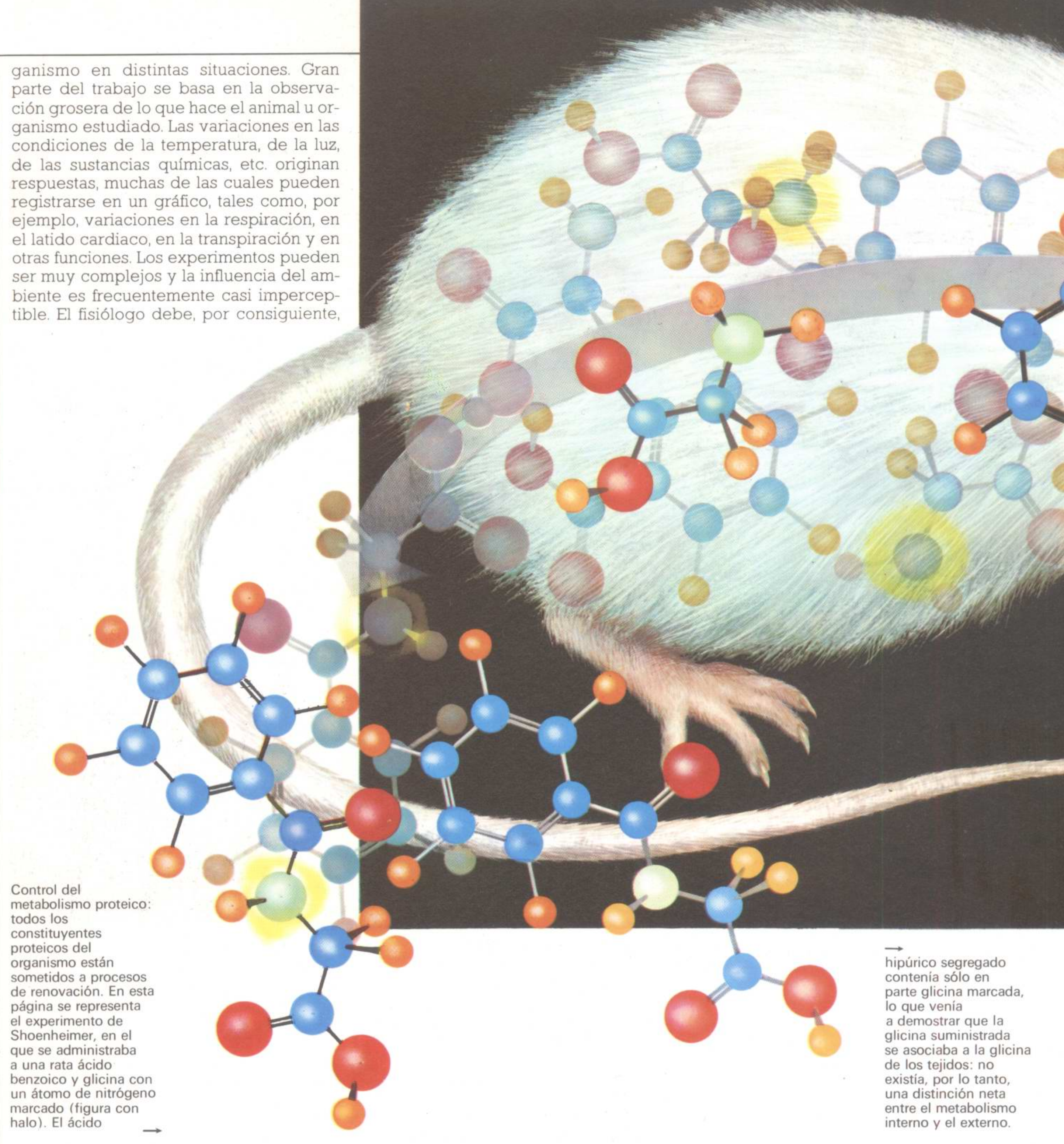
La *Fisiología comparada*, a su vez, estudia, describe y trata de sistematizar la multiplicidad de los mecanismos presentes en todas las formas de vida animal. Confrontando los modos como las varias especies resuelven el problema de la supervivencia, el especialista en Fisiología comparada puede llegar a generalizaciones concernientes a la vida sobre la Tierra distintas a las sostenidas por otros especialistas. Con frecuencia la investigación que se efectúa en especies distintas lleva a formular parámetros particulares, adecuados para una experimentación de carácter más general. El estudio de una característica de la sepia, como es la presencia de fibras nerviosas particularmente voluminosas, ha arrojado una nueva luz sobre el problema más general de la transmisión de las informaciones. La Fisiología comparada estudia los cambios provocados en las distintas especies por las transformaciones ambientales, proporcionando así una inestimable contribución a la Ecología.

Los estudios comparativos han acrecentado los conocimientos del sistema circulatorio. Se ha descubierto, por ejemplo, que la sangre circula en un sistema vascular cerrado en los vertebrados y en algunos invertebrados, pero que está en contacto directo con los tejidos en los animales inferiores. Sabemos que la presión sanguínea no es constante, sino que está sometida a variaciones, lo que hizo suponer en siglos pasados que el corazón sería la sede de las emociones. Los estudios llevados a cabo en diversas especies animales pueden explicar al fisiólogo por qué la presión sanguínea aumenta o disminuye según las transformaciones químicas del organismo. Esto ha hecho posible el diagnóstico de varios tipos de enfermedad a través de la medida de la presión sanguínea, sin tener que investigar la causa en particulares estados nerviosos.

Métodos de investigación El fisiólogo trabaja, sobre todo, mediante la experimentación con objeto de esclarecer cómo funciona un organismo o parte de un or-

Los problemas relativos a la Fisiología han interesado en todas las épocas. En la página anterior, de arriba abajo, ejemplos de ese interés: lámina XIII del tratado de Borelli en el que se intenta una esquematización geométrica de algunos movimientos (en este caso, movimiento de las alas en un ave), con objeto de poder dar después una interpretación físico-mecánica; dibujo (perteneciente a un tratado del siglo XVIII) que ilustra el mecanismo de los huesecillos del oído; e ilustración relativa a la contracción nerviosa en la rana, del *Curso de Medicina del Colegio de Francia* de Claude Bernard. Sobre estas líneas, esquema de la vía gustativa que comienza en la superficie de la lengua, con los nervios glosofaríngeo y vago, los núcleos del bulbo, la protuberancia, el tálamo y el área cortical de las sensaciones gustativas.

ganismo en distintas situaciones. Gran parte del trabajo se basa en la observación grosera de lo que hace el animal u organismo estudiado. Las variaciones en las condiciones de la temperatura, de la luz, de las sustancias químicas, etc. originan respuestas, muchas de las cuales pueden registrarse en un gráfico, tales como, por ejemplo, variaciones en la respiración, en el latido cardiaco, en la transpiración y en otras funciones. Los experimentos pueden ser muy complejos y la influencia del ambiente es frecuentemente casi imperceptible. El fisiólogo debe, por consiguiente,



Control del metabolismo proteico: todos los constituyentes proteicos del organismo están sometidos a procesos de renovación. En esta página se representa el experimento de Shoenheimer, en el que se administraba a una rata ácido benzoico y glicina con un átomo de nitrógeno marcado (figura con halo). El ácido → hipúrico segregado contenía sólo en parte glicina marcada, lo que venía a demostrar que la glicina suministrada se asociaba a la glicina de los tejidos: no existía, por lo tanto, una distinción neta entre el metabolismo interno y el externo.

poseer una gran maestría en la utilización de los sofisticados aparatos de laboratorio, dado que sus análisis deben ser muy precisos.

Los experimentos fisiológicos se dividen en cuatro categorías. Los experimentos *in vivo* se realizan sobre organismos vivos o sobre alguna de sus partes. Los experimentos *in vitro* precisan la extirpación de partes de un organismo y su estudio por separado. Los experimentos *agudos* miden los efectos inmediatos de una manipulación ambiental, mientras que los experimentos *crónicos* miden tales efectos en un largo período de tiempo.

Principales funciones vitales Algunas funciones orgánicas ocupan una parte primordial de los estudios del fisiólogo. Entre dichas funciones destaca el metabolismo animal, que es el proceso por el cual el alimento asimilado se transforma en energía utilizable por los distintos tejidos del propio animal. En este campo una gran parte de la investigación es la referente a las reacciones químicas, y se relaciona, por lo tanto, con el campo de la Bioquímica, rama científica originada de la Fisiología y ahora completamente independiente. Los estudios acerca del metabolismo desarrollados por los fisiólogos han producido numerosos resultados. Han llevado, por ejemplo, al descubrimiento de los enzimas y a un profundo conocimiento de su comportamiento. Los estudios comparados del metabolismo animal han llevado igualmente al descubrimiento de varias vitaminas anteriormente desconocidas y a la posibilidad de diagnosticar algunas enfermedades.

Los estudios fisiológicos sobre el sistema circulatorio, iniciados en el siglo XVII, han ido proporcionando útiles informaciones acerca del metabolismo; se descubrió, por ejemplo, que la sangre es el medio específico de transporte de las sustancias



nutricias a los tejidos orgánicos, que la sangre transporta el oxígeno necesario para los procesos metabólicos desde los pulmones a todos los tejidos y que lleva a los pulmones el producto de desecho de las células, es decir, el dióxido de carbono, para que sea eliminado a través de la respiración. La comprensión de las reacciones bioquímicas de la sangre ha hecho posible la aplicación de nuevos tratamientos médicos a través de transfusiones, como consecuencia de lo cual se han creado numerosos bancos de sangre.

La capacidad de un animal para captar informaciones del ambiente implica que éste posea órganos sensoriales y un sistema nervioso capaz de elaborar los estímulos externos. El estudio de estos procesos constituye el campo de la *Neurofisiología*: estudio de las conexiones nerviosas que llegan directamente al cerebro en algunos animales, y de los reflejos que constituyen el mecanismo más simple de transmisión que no hace uso del cerebro en otros animales. Las transmisiones sinápticas anteriormente descritas forman parte de este sistema de transferencia de las informaciones.

En el estudio de la fisiología de la digestión se descubrió que el páncreas segregaba sustancias de control. Esto ha determinado el descubrimiento de un complejo sistema de hormonas, llamado *sistema endocrino*, cuyas secreciones en varios órganos del cuerpo contribuyen a regular las condiciones internas.

El sistema endocrino u hormonal actúa de modo más lento que el sistema nervioso, pero es complementario de éste e interactúa con él, coordinando químicamente ciertos tipos de respuesta. El mantenimiento de las condiciones internas se denomina *homeostasis,* equilibrio que si se modifica puede originar el surgimiento de numerosos trastornos.

Aplicaciones de la Fisiología Si bien la Fisiología comparada ha sido muy importante para los estudios sobre la evolución y sobre la clasificación de las especies, la mayor parte de las investigaciones en el campo fisiológico tienen como fin el desarrollo de la Medicina. Los experimentos de laboratorio en animales proporcionan informaciones útiles también para comprender las reacciones del cuerpo humano a los fármacos y a otras sustancias, como, por ejemplo, los aditivos alimentarios. Además, las funciones sistémicas de especies aparentemente distintas pueden, en realidad, resultar similares. El estudio de las modificaciones ambientales ocasionadas mediante el uso de sustancias químicas o fertilizantes y de sus efectos sobre los animales puede ser importante para la definición de una correcta política ecológica.

La práctica de la Fisiología requiere notables conocimientos y experiencia técnica y, dados sus aspectos interdisciplinarios, con frecuencia es denominada con el apelativo de "reina de las ciencias biológicas".

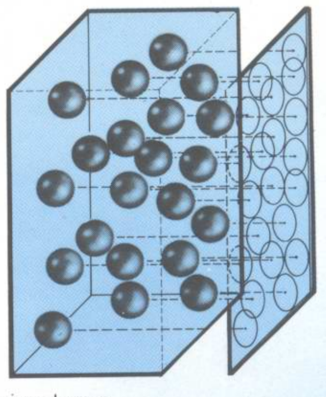
Véase **Bioingeniería; Cardiología; Cuerpo humano; Digestión; Digestivo, aparato; Endocrino, sistema; Medicina; Reflejo condicionado; Respiración; Sangre y grupos sanguíneos**

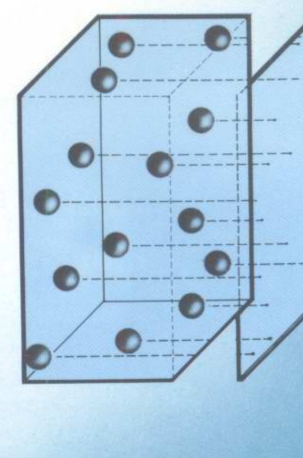
Fisión nuclear

A comienzos de 1939, dos físicos alemanes, Otto Frisch y Lise Meitner, su tía, paseaban por las colinas cercanas a Estocolmo, en Suecia. Hablaban de lo que un colega y amigo, Otto Hahn, había dicho, y era que cuando una muestra de uranio es bombardeada con partículas sin carga eléctrica, como los neutrones, es posible detectar la presencia de otros dos elementos, el bario y el criptón. Frisch y Meitner pensaban que los neutrones eran los causantes de la inestabilidad de los átomos de uranio, produciendo su ocasional escisión en dos átomos de menores dimensiones.

Algo llevó a la mente de Frisch aquel proceso biológico por el cual un organismo unicelular se subdivide en dos organismos más pequeños, de dimensiones parecidas. Preguntó entonces a un amigo biólogo el nombre de dicho proceso. "Fisión" fue la respuesta, y el nombre fue utilizado por Frisch para denominar aquel fenómeno físico.

Tan sólo tres años después de la primera definición y descripción de Frisch, un grupo de científicos consiguió controlar el proceso de fisión en laboratorio. Otros tres años después se utilizaba por primera vez la fuerza explosiva derivada de la energía emitida por la fisión para fines bélicos en Hiroshima y Nagasaki (Japón). Seis años más tarde se obtenía electricidad de un reactor nuclear de fisión, en Idaho (EE UU). El comienzo de la era nuclear estaba ya consolidado.





Un modo de provocar la fisión artificialmente es el bombardeo de un núcleo mediante partículas. Debido al gran espacio hueco que existe entre los átomos de la materia, la consecución de impactos con los núcleos atómicos que provoquen realmente fisión es, en definitiva, una cuestión de probabilidad, que se valora imaginando que todas las partículas que inciden sobre un núcleo provocan su fisión, pero que la probabilidad de dar en el blanco, debido al pequeño tamaño de los núcleos, es baja. Arriba vemos la proyección del perfil de átomos pequeños y medios y la de sus núcleos.

neutrón

núcleo de U-235

núcleo de U-235 excitado por la absorción del neutrón

El proceso de fisión nuclear En general, el átomo es representado como un sistema solar en miniatura, compuesto por minúsculas partículas con carga negativa, llamadas *electrones*, que giran alrededor de un núcleo mucho más consistente constituido por *protones*, de carga positiva, y *neutrones*, sin carga eléctrica.

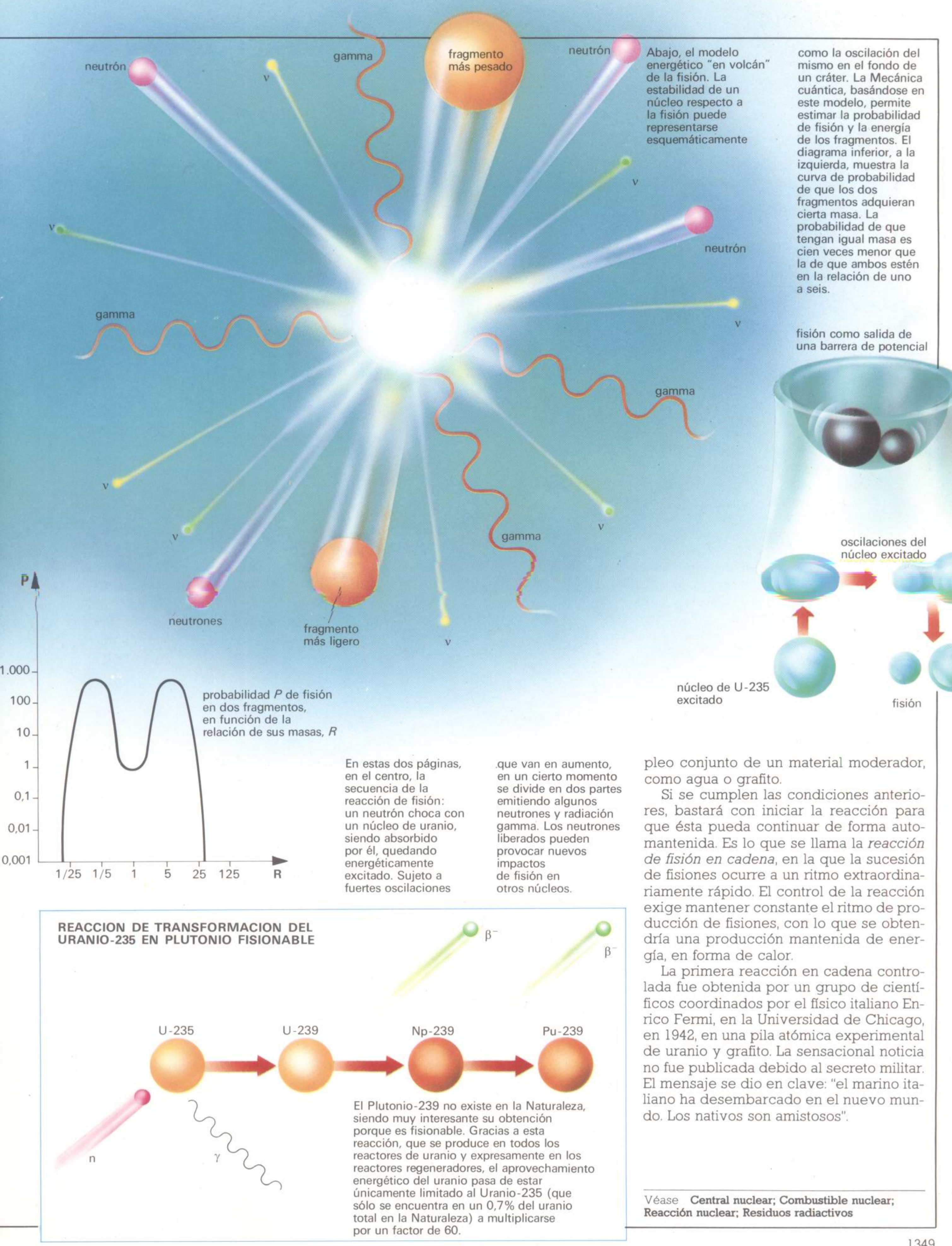
Las partículas del núcleo atómico se mantienen fuertemente ligadas debido a que en el proceso de formación de un núcleo es emitida una pequeña parte de su masa convertida en energía según la conocida fórmula de Einstein: $E = mc^2$. Esta energía, de gran magnitud relativa, recibe el nombre de *energía de enlace* o *de ligadura*. Pues bien, el fenómeno de la fisión, descubierto por Otto Hahn, consiste en la partición de un núcleo atómico de un elemento de elevado peso atómico en otros dos núcleos de peso intermedio (o, muy raramente, en tres fragmentos), emitiéndose además neutrones y radiación gamma (y, en ocasiones, partículas alfa y beta).

En el proceso hay un excedente de energía de ligadura por ser menor la del átomo que la de los nuevos átomos formados y esta energía excedente se comunica a los fragmentos originados en la escisión, que aparecen, en consecuencia, dotados de grandísimas velocidades. Así, la energía liberada en una fisión unitaria, que es de aproximadamente 200 MeV (casi 10 billonésimas de caloría), aunque muy pequeña en valor absoluto, a la escala atómica que se está considerando es capaz de comunicar velocidades de miles de kilómetros por segundo a los fragmentos de fisión. La energía acumulada de la fisión completa de tan sólo un gramo de Uranio-235 daría lugar a 20.000 millones de calorías, es decir, el equivalente a la energía obtenida en la combustión de 2,5 toneladas de carbón, o de 1,5 toneladas de fueloil. De ahí el gran interés de la utilización del proceso de la fisión como fuente primaria de energía.

Son varios los isótopos de elementos de peso atómico alto (torio, protactinio, uranio, neptunio, plutonio, americio, curio) que pueden experimentar fisión al ser bombardeados con neutrones, pero, de ellos, los más accesibles para su aprovechamiento son el Uranio-235, el Plutonio-239 y el Uranio-233. El primero se encuentra en la Naturaleza (en una proporción de 0,7% respecto del uranio natural) y los otros dos pueden obtenerse artificialmente en los reactores nucleares.

Algunos isótopos, como el Uranio-238, experimentan fisión espontánea en la Naturaleza, aunque a un ritmo muy lento. Por otra parte, la fisión nuclear puede también provocarse por otras partículas (alfa, deuterones, etc.) e incluso con radiación gamma, y sobre elementos de peso atómico menor que los citados. Pero se necesita, para ello, energías de bombardeo extraordinariamente altas.

La reacción en cadena Para la obtención y aprovechamiento de la energía de fisión sería necesario mantener un flujo de neutrones, impactando a un cierto ritmo sobre el material fisible. Pero, en la práctica, y siempre que se cumplan ciertas condiciones físicas, puede conseguirse que los propios neutrones liberados en una fisión (2 ó 3 en el caso del U-235; 3 en el caso de Pu-239) provoquen nuevas fisiones en otros átomos y así sucesivamente. Estas condiciones son: que haya una cierta cantidad mínima de material fisible, denominada *masa crítica*, para que exista una probabilidad suficiente de impacto, y que la energía cinética (en forma de velocidad) de los neutrones de impacto sea la adecuada. Así, en el caso de la fisión del Plutonio-239, los neutrones rápidos tal como se generan en el proceso son adecuados para mantener la reacción, mientras que en el caso del Uranio-235 se necesita que aquéllos sean moderados a velocidades más bajas, lo que exige el em-



Abajo, el modelo energético "en volcán" de la fisión. La estabilidad de un núcleo respecto a la fisión puede representarse esquemáticamente como la oscilación del mismo en el fondo de un cráter. La Mecánica cuántica, basándose en este modelo, permite estimar la probabilidad de fisión y la energía de los fragmentos. El diagrama inferior, a la izquierda, muestra la curva de probabilidad de que los dos fragmentos adquieran cierta masa. La probabilidad de que tengan igual masa es cien veces menor que la de que ambos estén en la relación de uno a seis.

En estas dos páginas, en el centro, la secuencia de la reacción de fisión: un neutrón choca con un núcleo de uranio, siendo absorbido por él, quedando energéticamente excitado. Sujeto a fuertes oscilaciones que van en aumento, en un cierto momento se divide en dos partes emitiendo algunos neutrones y radiación gamma. Los neutrones liberados pueden provocar nuevos impactos de fisión en otros núcleos.

El Plutonio-239 no existe en la Naturaleza, siendo muy interesante su obtención porque es fisionable. Gracias a esta reacción, que se produce en todos los reactores de uranio y expresamente en los reactores regeneradores, el aprovechamiento energético del uranio pasa de estar únicamente limitado al Uranio-235 (que sólo se encuentra en un 0,7% del uranio total en la Naturaleza) a multiplicarse por un factor de 60.

pleo conjunto de un material moderador, como agua o grafito.

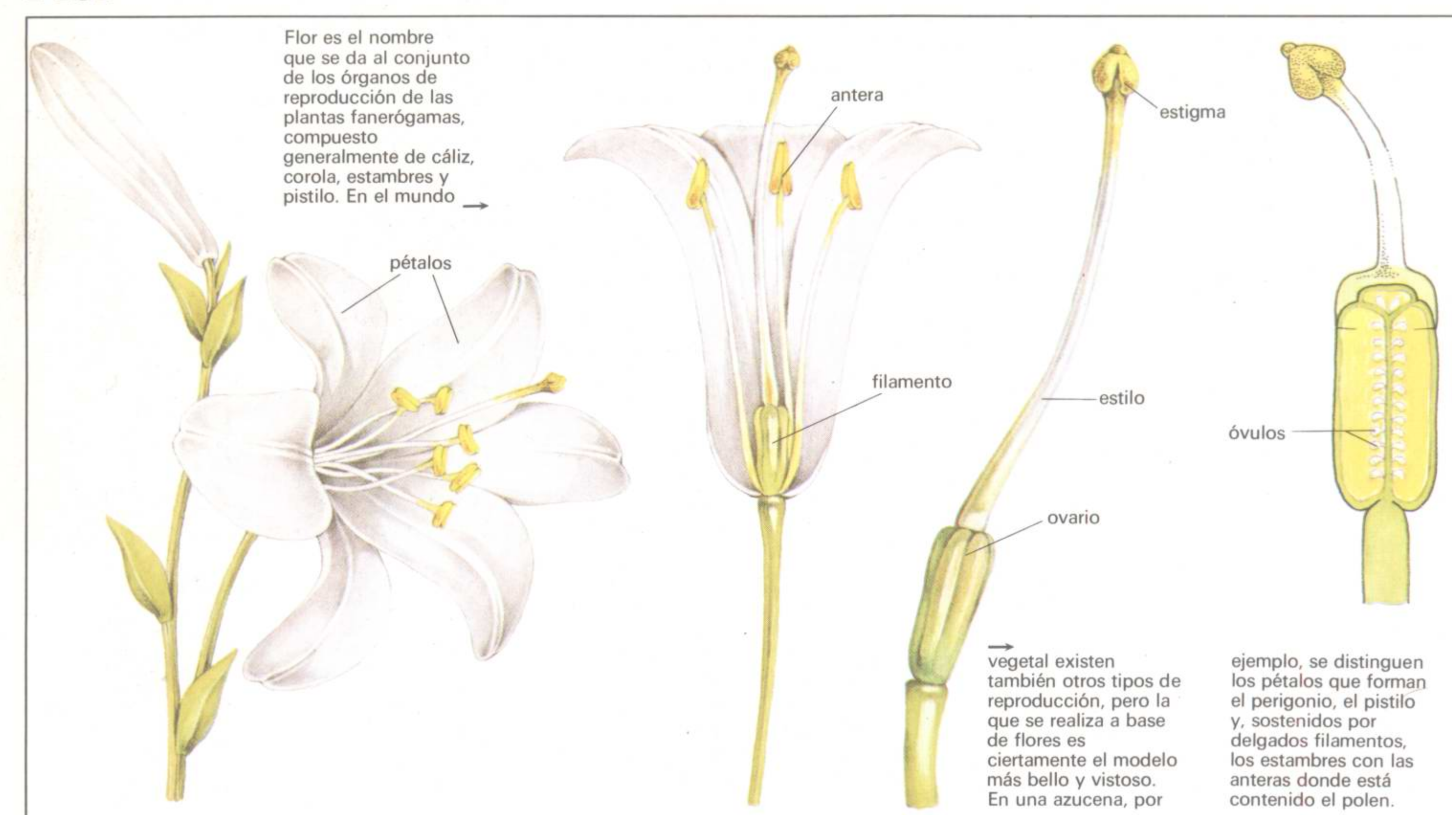
Si se cumplen las condiciones anteriores, bastará con iniciar la reacción para que ésta pueda continuar de forma automantenida. Es lo que se llama la *reacción de fisión en cadena*, en la que la sucesión de fisiones ocurre a un ritmo extraordinariamente rápido. El control de la reacción exige mantener constante el ritmo de producción de fisiones, con lo que se obtendría una producción mantenida de energía, en forma de calor.

La primera reacción en cadena controlada fue obtenida por un grupo de científicos coordinados por el físico italiano Enrico Fermi, en la Universidad de Chicago, en 1942, en una pila atómica experimental de uranio y grafito. La sensacional noticia no fue publicada debido al secreto militar. El mensaje se dio en clave: "el marino italiano ha desembarcado en el nuevo mundo. Los nativos son amistosos".

Véase **Central nuclear; Combustible nuclear; Reacción nuclear; Residuos radiactivos**

Flor

Flor es el nombre que se da al conjunto de los órganos de reproducción de las plantas fanerógamas, compuesto generalmente de cáliz, corola, estambres y pistilo. En el mundo →



→ vegetal existen también otros tipos de reproducción, pero la que se realiza a base de flores es ciertamente el modelo más bello y vistoso. En una azucena, por ejemplo, se distinguen los pétalos que forman el perigonio, el pistilo y, sostenidos por delgados filamentos, los estambres con las anteras donde está contenido el polen.

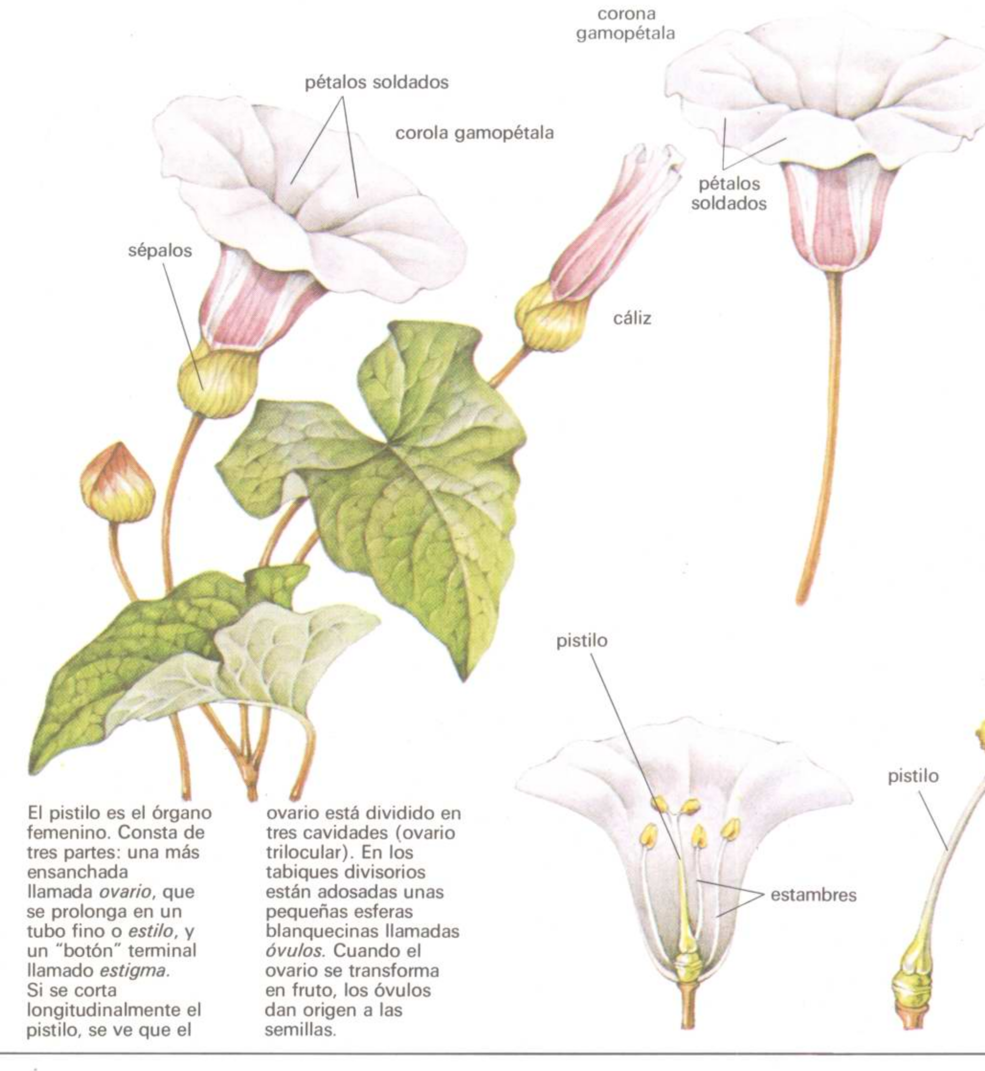
Los antiguos romanos añadían violetas picadas a la ensalada, comían confitura de rosas cocidas y cada año celebraban unas fiestas dedicadas a Flora, la diosa de las flores. Al igual que los griegos y los egipcios, tenían la costumbre de utilizar profusamente las rosas, tanto para la decoración como en señal de homenaje.

El cultivo de las flores estaba muy en boga en tiempos de Nerón, a quien se dedicaban las que pertenecían a la familia real y a las clases más ricas. Durante la Edad Media las flores apenas eran apreciadas como objetos de ornamentación, pero se cultivaban profusamente para usos medicinales. Con el Renacimiento surgieron los primeros jardines europeos, y los colores de las flores llenaron muchos rincones. La Revolución Industrial dio un gran impulso al cultivo de las flores, que a mediados del siglo XX se convirtió en una actividad económica de relativa importancia.

Qué es una flor La flor es la estructura típica y más vistosa de las plantas fanerógamas, o plantas con flores. Se trata del segmento reproductor de la planta, capaz de transformarse en fruto y semillas. Una flor está formada por:

1) el *cáliz*: a modo de envoltura y situado en la base de la flor, el cáliz está formado por sépalos, que pueden estar separados (dialisépala) o unidos entre sí (gamosépala). Los sépalos suelen ser verdes, aunque también pueden ser blancos, como en el caso de las anémonas;

2) la *corola*: es la porción coloreada de la flor, cuyos segmentos reciben el nombre de *pétalos*; la superficie de los pétalos suele ser lisa, pero en algunos casos,



El pistilo es el órgano femenino. Consta de tres partes: una más ensanchada llamada *ovario*, que se prolonga en un tubo fino o *estilo*, y un "botón" terminal llamado *estigma*. Si se corta longitudinalmente el pistilo, se ve que el ovario está dividido en tres cavidades (ovario trilocular). En los tabiques divisorios están adosadas unas pequeñas esferas blanquecinas llamadas *óvulos*. Cuando el ovario se transforma en fruto, los óvulos dan origen a las semillas.

como en los lirios, puede tener una fina pelusa. La corola presenta formas variadas, y a menudo posee néctar, sustancia dulce a partir de la cual las abejas elaboran la miel; al igual que los sépalos, también los pétalos pueden aparecer soldados (gamopétala) o separados (dialipétala);

3) los *estambres*: constituyen el órgano reproductor masculino (*androceo*); están formados por un filamento y una antera, se insertan en la corola y su número puede variar de uno a varios cientos; el filamento es delgado y sostiene a la antera; esta última está formada por sacos polínicos que contienen el polen, formado por protoplasma granular, partículas oleosas y a veces almidón;

4) el *pistilo*: órgano femenino (*gineceo*) que se encuentra justo en el centro de la flor rodeado por los estambres; está formado por una parte basal ensanchada, el *ovario*, su prolongación delgada y filamentosa, llamada *estilo*, y el *estigma*, una expansión apical del estilo necesaria para la polinización; cuando madura, el ovario se convierte en el fruto que contiene las semillas de la planta. El fruto está formado por uno o varios carpelos, que se consideran hojas modificadas o sin desarrollar; si un pistilo tiene un solo carpelo, se dice que es un pistilo simple (monocarpelar), mientras que si tiene más de uno se habla de pistilo compuesto (pluricarpelar).

Estos elementos, masculinos y femeninos, no se encuentran siempre en todas las flores. Si existen ambos, la flor es completa o hermafrodita; si falta uno de ellos, se habla de flor incompleta o unisexual.

En las flores existen diversos niveles de organización. La mayoría de las plantas presenta diferentes *verticilos* superpuestos, de manera que cada uno constituye el cáliz, la corola, el androceo y el gineceo. Cuando las partes de la flor se disponen de esa forma, la flor se llama *cíclica*; si los componentes de los verticilos tienen el mismo número y se disponen alternadamente, la flor se llama *eucíclica*. Algunas flores, como la magnolia, son acíclicas, ya que sus partes se disponen en espiral en torno a un eje. El ranúnculo o botón de oro es hemicíclico: por un lado es cíclico y, por otro, espiral. Cuando los verticilos tienen un número de componentes igual o múltiplo, la flor es simétrica, como la petunia, en la que las distintas partes de cada verticilo son iguales. Hay flores, como el guisante de olor y el dragón, que son zigomorfas o de simetría bilateral, es decir,



En la foto se pueden ver los estambres de una crucífera; hay cuatro largos y dos más cortos, y todos ellos se encuentran libres en la flor. Se pueden ver las anteras cargadas de polen. El número de estambres y su disposición tienen una enorme importancia para la clasificación de las plantas. A pesar de que las flores, por lo general, parecen diferenciarse por la variedad de sus corolas, la clasificación sistemática se basa sobre todo en las características del androceo.

flores
germinación de una nueva planta
sacos polínicos de la antera
nueva planta
semillas
polen
pistilo
estigma
pistilo
antera
estambres
fruto
filamento
óvulos

Cada estambre termina en una antera, en cuyo interior se encuentra el polen. Cuando éste está maduro, sale de la antera, depositándose algunos granos en el estigma de las flores, y perdiéndose la mayor parte en el medio. Una vez en el estigma, emite una larga prolongación, tras germinar, que llega hasta el ovario, donde deposita los gametos masculinos en una de las ovocélulas. De esta forma se lleva a cabo la fecundación.

FECUNDACION

INFLORESCENCIAS

cabezuela

racimo

umbela

umbela compuesta

espiga

corimbo

amento

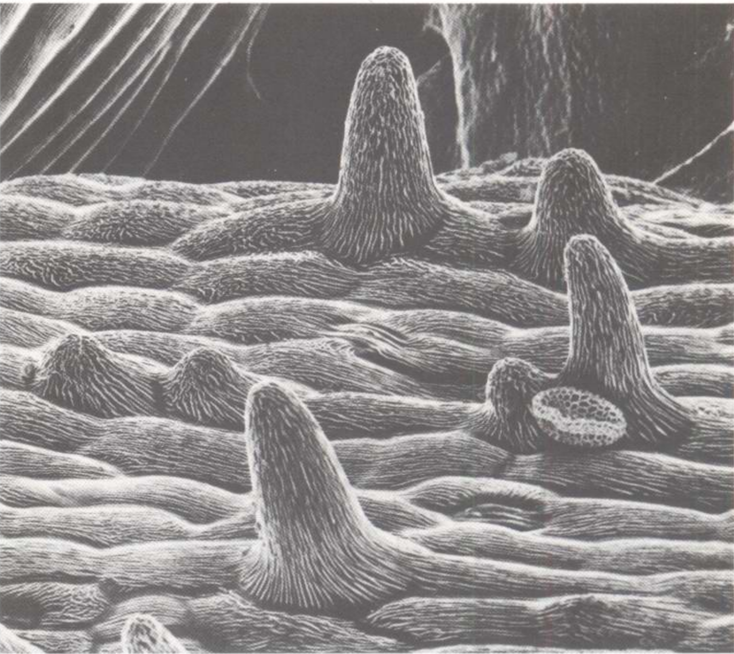
que se pueden dividir en dos partes iguales. Existen también flores compuestas, o inflorescencias, formadas por multitud de florecillas sentadas en un pequeño receptáculo común.

Polinización y fertilización Para que tenga lugar la polinización, el polen tiene que ser transportado desde el órgano reproductor masculino al femenino. En primer lugar maduran los sacos polínicos, y luego se abre la antera liberando el polen. Los granos de polen tienen que ser transportados desde la antera hasta el estigma para que pueda tener lugar la fecundación.

La polinización puede ser de dos tipos: 1) *autopolinización*, o polinización directa del estigma de una flor con el polen de esa misma flor u otra de la misma planta; 2) *polinización cruzada* o indirecta, que es el transporte del polen desde la antera de una flor al estigma de otra perteneciente a otra planta de la misma especie. La polinización cruzada queda asegurada generalmente por la acción del viento (plantas *anemófilas*) o por la de los insectos (plantas *entomófilas*); en este caso, las flores son ricas en néctar, perfumadas y de vivos colores. Otros agentes que suelen intervenir son el agua corriente y las aves. La autopolinización tiene lugar en muchas especies, pero en algunas de ellas puede verse obstaculizada por numerosos factores, como la estructura de la flor o la maduración en distintos momentos de los estambres y los pistilos.

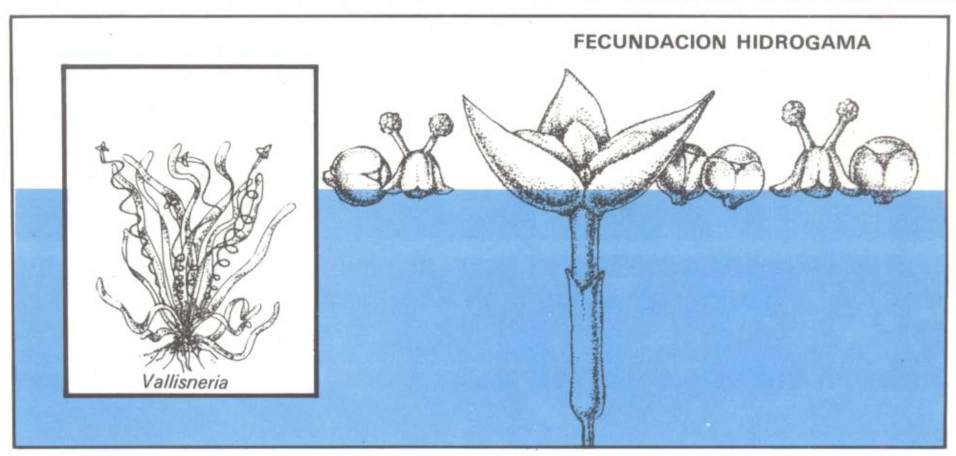
El polen, una vez alcanzado el estigma —que está húmedo, debido a los líquidos que segrega—, germina, formando un tubo polínico que penetra por un poro del estigma. El tubo, que contiene espermatozoides, va avanzando por el estilo hasta llegar al ovario, donde fecunda la ovocélula. El estigma puede ser alcanzado por muchos granos de polen, pero sólo un tubo polínico penetrará en cada saco embrional. La ovocélula fecundada forma una planta embrionaria antes de convertirse

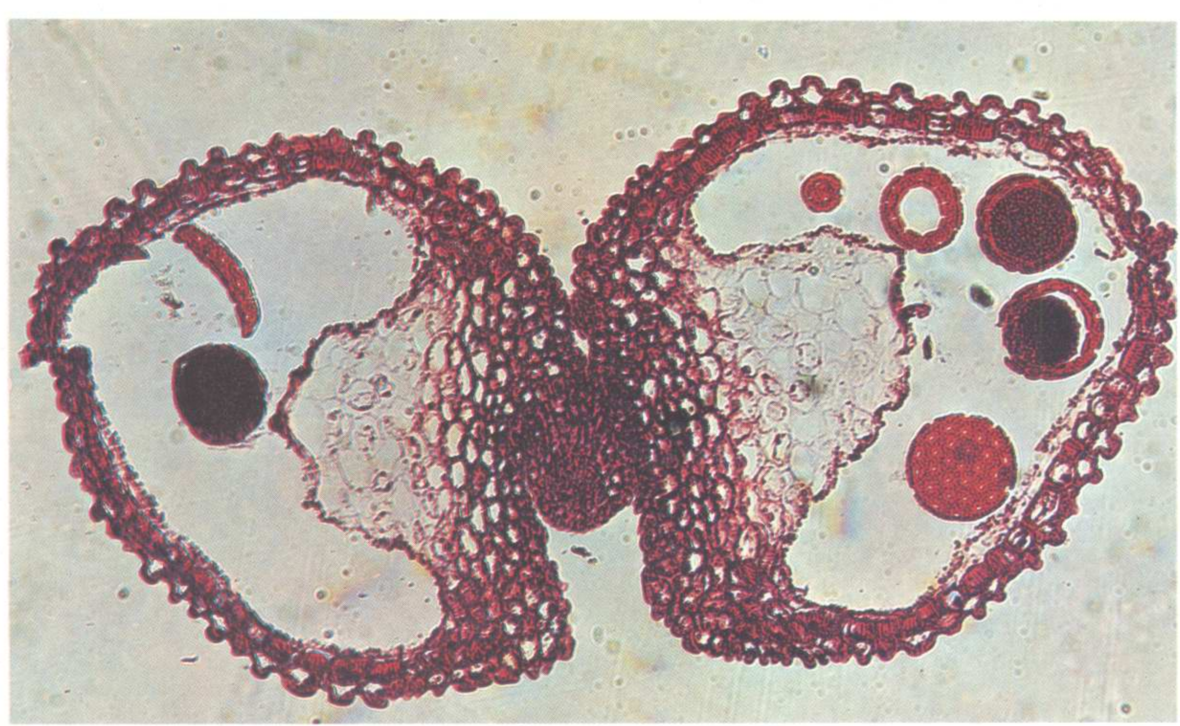
Cada antera está formada por dos tecas, divididas por un surco más o menos profundo. Las tecas, a su vez, tienen dos compartimentos o sacos polínicos que al madurar se abren liberando los granos de polen, cuya forma permite, gracias a su especificidad, identificar la especie de una planta. Este hecho ha permitido reconocer las plantas que han vivido en épocas remotas, a partir del polen que ha quedado fosilizado en las arcillas. Arriba, a la derecha, abeja en una flor de caléndula. La imagen que está a la derecha de estas líneas nos muestra cómo se ve el polen de *Iberia* a través de las lentes del microscopio electrónico.





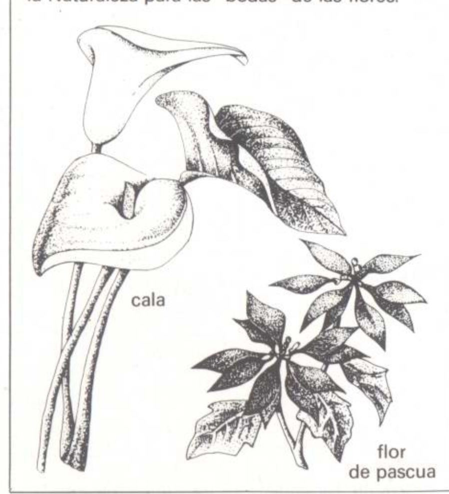
A la izquierda, un estambre aislado y bastante aumentado. Abajo, una antera vista al microscopio. A la derecha, una *Vallisneria*, planta acuática cuyas flores masculinas alcanzan a las femeninas a través del agua para la reproducción. En la página anterior, algunos ejemplos de las más conocidas inflorescencias, con el esquema de la estructura de la disposición de las flores.





FALSAS FLORES

El blanco pétalo de la *cala* no es más que una hoja que rodea a la inflorescencia en espádice. Las cimas rojas de la flor de pascua son hojas de colores que rodean unas flores diminutas. Se trata de "trampas" deliciosas de la Naturaleza para las "bodas" de las flores.



en semilla. El fruto procedente de la flor está formado por las semillas y el ovario desarrollado.

Dónde crecen las flores La mayoría de las plantas angiospermas está adaptada a vivir en ambientes en los que dispone de agua, luz y oxígeno en la medida adecuada. El principal elemento para la vida de una planta es el agua. Las plantas se clasifican en *hidrófilas*, *mesófilas* y *xerófilas*, según sus necesidades de agua. Las plantas hidrófilas viven en el agua, en contacto con ella o con sus raíces sumergidas constantemente en ella, siendo plantas acuáticas o subacuáticas; las mesófilas necesitan una cantidad media de agua; mientras que las xerófilas soportan una sequía más o menos pronunciada e incluso algunas se agostan cuando la humedad del suelo o del ambiente rebasa ciertos límites. Las plantas silvestres de bellas flores son mayoritariamente mesófilas.

La flor y su evolución Dado que los restos fósiles de flores han proporcionado muy pocas informaciones acerca de su desarrollo evolutivo, los científicos tienen que conformarse con el estudio de los "modelos vivos", es decir, de las flores que se encuentran en la actualidad. Se han elaborado teorías hoy muy aceptadas acerca de la evolución de la flor: por un lado se cree que las flores bisexuales son anteriores a las unisexuales, también se cree que las flores con muchos elementos han tenido una evolución inferior a las que tienen menos estructuras, y que las flores con pétalos son anteriores a las flores sin pétalos. Parece ser que las flores irregulares son posteriores a las regulares, y la distinción entre espiral y verticilos parece indicar que la espiral es la forma más primitiva.

Véase **Arbol; Evolución; Fecundación e inseminación artificial; Fruto y árboles frutales; Semillas**

Fluorescencia

El tubo de rayos catódico de los televisores constituye hoy en día, junto con las lámparas fluorescentes, uno de los ejemplos más corrientes de las aplicaciones del fenómeno de la fluorescencia. Efectivamente, la pantalla de la televisión está recubierta interiormente de una sustancia mineral, que se ilumina cada vez que es alcanzada por un rayo de electrones: cuanto más intenso es el rayo, mayor es la luminosidad que se desarrolla; regulando apropiadamente la intensidad del haz de electrones según cuánto se quiera iluminar cada punto de la pantalla, se obtiene en ella la formación de una imagen. Por lo tanto la fluorescencia es un factor esencial para el funcionamiento de un televisor (tanto en color como en blanco y negro), en el cual los impulsos eléctricos recibidos por la antena se transforman en señales luminosas.

Generalmente la fluorescencia se define como el fenómeno por el que una sustancia emite luz cuando se expone a una *radiación*, tanto electromagnética como de rayos X o ultravioleta, o a un haz de partículas como los electrones.

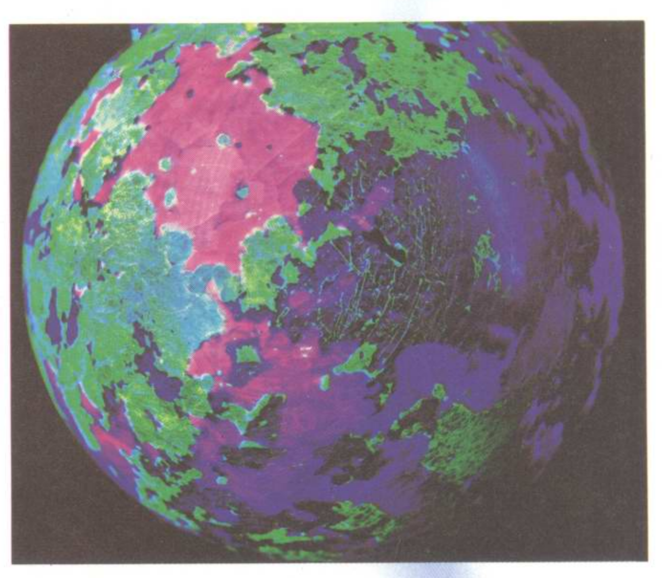
El término *fluorescencia* fue empleado por primera vez en 1852 por el científico inglés sir George Stokes para describir la emisión luminosa de la fluorita (un compuesto de calcio y cloro) cuando se ilumina con luz ultravioleta.

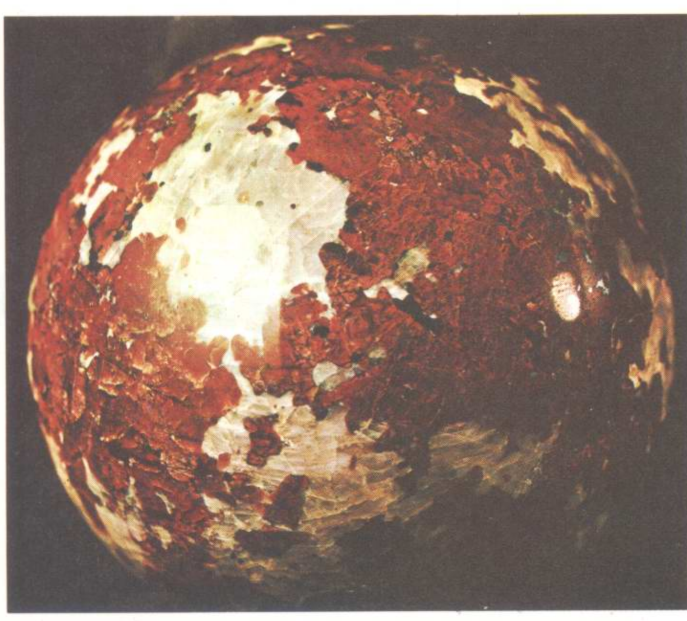
Luminosidad residual En ciertos aspectos, la fluorescencia se parece a otro fenómeno conocido con el nombre de *fosforescencia* (del término griego que significa "portador de luz"). Generalmente los dos fenómenos se diferencian por la duración de su *luminosidad residual*: la fluorescencia acaba casi inmediatamente después del fin de la exposición a la radiación, mientras que la fosforescencia muestra una luminosidad residual que puede durar bastante tiempo (desde algunos segundos hasta algunos días). En ambos casos la emisión es producida por el haz de radiación que llega a la sustancia: la radiación es absorbida por los átomos, con lo que alcanzan estados excitados; los electrones pasan entonces de un nivel energético a otro (*transición*) emitiendo energía (en forma de luz) hasta volver al estado de equilibrio. En las sustancias fluorescentes la transición de un nivel a otro ocurre prácticamente de inmediato; en cambio, en las sustancias fosforescentes los electrones permanecen más tiempo en el nivel energético más elevado y su vuelta a un nivel inferior es más lenta que en la fluorescencia. A pesar de ello, la distinción por medio de la duración de

electrón
excitado

salto

En esta muestra están presentes varios minerales: calcita (blanca), willemita (rojo-orín) y franklinita (negra), tal como aparecen iluminados con luz natural (foto inferior). Si en cambio la muestra se ilumina con luz ultravioleta (como se ve en la foto bajo estas líneas), debido a la fluorescencia, la calcita aparece de color rosa-violáceo, y la willemita, verde. La franklinita, que no es fluorescente, sigue apareciendo negra.





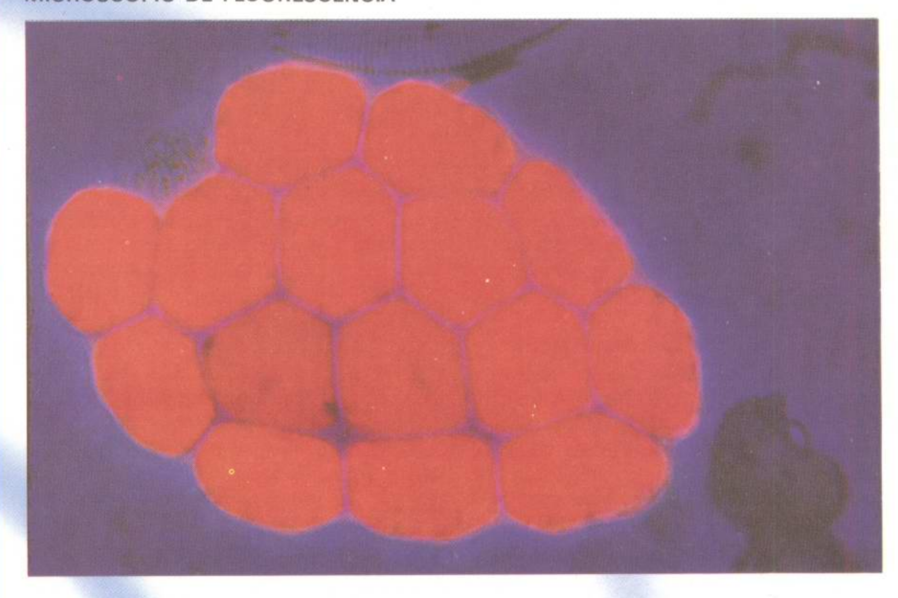
Algunos minerales presentan de forma bien diferenciada el fenómeno de la fluorescencia y el de la fosforescencia. Algunas variedades de yeso, por ejemplo, iluminadas con luz ultravioleta, emiten luz blanca debido a la fluorescencia; transportando inmediatamente el mineral a un lugar oscuro, lo veremos emitir una bonita luz amarillo-limón: este es un caso de fosforescencia, dado que la emisión dura unos segundos después de la exposición a la energía excitadora. También algunas variedades del aragonito se comportan igual que el yeso: por fluorescencia emiten luz rosada, mientras que en el caso de la fosforescencia, la emiten blanca.

radiación

el electrón
absorbe
energía

electrón

MICROSCOPIO DE FLUORESCENCIA



La clorofila, aquí reproducida, aparece roja como se ve en el microscopio de fluorescencia. Este tipo de microscopio no es esencialmente diferente del tradicional, excepto en la iluminación: la muestra orgánica a observar se ilumina con luz ultravioleta. Si la sustancia no es naturalmente fluorescente, entonces se recurre a marcarla con sustancias que sí lo sean.





la luminosidad residual no siempre es exacta y efectuar una separación clara entre los dos fenómenos es muy difícil, de manera que frecuentemente se habla de *luminiscencia* para referirse indistintamente a fluorescencia o fosforescencia.

Aplicaciones de la fluorescencia Además de su utilización en las pantallas de los televisores, es muy corriente el empleo de la fluorescencia en las lámparas. Una *lámpara fluorescente* está formada esencialmente por un tubo de cristal lleno de gas a baja presión (argón, neón, vapores de sodio, vapores de mercurio, etc.); el tubo está recubierto en su interior por una sustancia fluorescente en polvo. Entre los dos electrodos, puestos uno a cada extremo del tubo, se produce una descarga eléctrica que pasa a través del gas, excitando sus átomos, los cuales emiten radiaciones que, a su vez, excitan los átomos del recubrimiento y les obligan a emitir luz.

El revestimiento fluorescente puede ser de tipos diferentes según la clase de luz que se desee obtener: entre las variedades de blanco y los colores disponibles comercialmente, se llega a por lo menos dos docenas de recubrimientos diferentes. Los tubos fluorescentes generan, por cada watio de potencia consumido, una cantidad de luz equivalente a tres o cuatro veces la de las bombillas de filamento incandescente; además cuestan menos y duran más.

Otras importantes aplicaciones de la fluorescencia son las pantallas de los aparatos para radioscopias de rayos X, las pantallas de radar y los contadores de partículas, empleados para medir la radiactividad.

Comercialmente, se emplea también en algunos tipos de tinta para imprenta y en esas sustancias blanqueadoras, contenidas en los detergentes, que dan a las prendas lavadas una luminosidad blanco-azulada, que esconde la tendencia natural del tejido blanco a volverse algo amarillo con el tiempo.

La fluorescencia tiene una particular importancia en los compuestos orgánicos, y especialmente en el papel de la clorofila en el proceso de la fotosíntesis: el efecto de la fluorescencia se emplea para estudiar cómo las plantas convierten la energía luminosa recibida del Sol en materias orgánicas necesarias para sus procesos vitales.

Un procedimiento parecido se emplea en Medicina, donde sustancias fluorescentes se unen a proteínas, permitiendo así seguir el recorrido de virus y anticuerpos en el interior de los organismos vivos y por lo tanto conseguir una mejor comprensión de los mecanismos inmunológicos de los seres vivos.

Otra importante aplicación es el microscopio de fluorescencia, que aprovecha el fenómeno para observar mejor algunos preparados, obteniendo más información.

Véase **Fosforescencia; Luz; Optica; Radar; Radiación; Televisión**

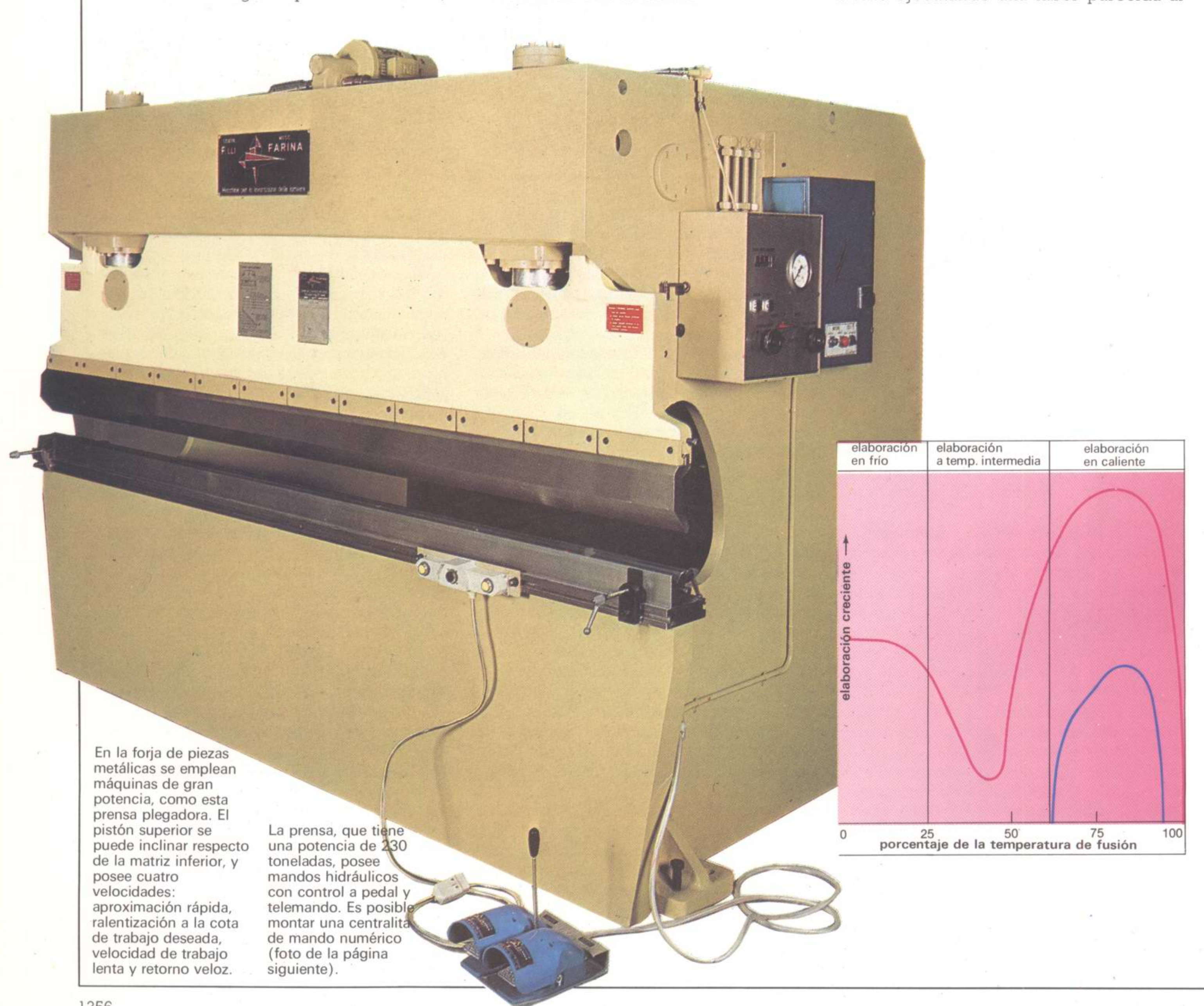
Forja

La forja es una técnica destinada a conformar objetos metálicos y consiste en calentar un metal que sucesivamente es golpeado y prensado —mientras aún está caliente— para darle la forma deseada, que puede ser desde la de una pieza muy grande, como por ejemplo un chasis de automóvil, hasta la de un pequeño componente, como una herramienta o un engranaje. Muchos metales y aleaciones pueden trabajarse en frío o fundirse a presión, pero las piezas de acero se someten mayoritariamente a un forjado con el fin de obtener unas caracteristicas mecánicas máximas.

Una de las principales ventajas de la forja con respecto a la fusión en moldes y a la elaboración en frío (o corte) consiste en que obliga al grano del metal a seguir la forma de la pieza. Este hecho da una mayor resistencia a las aristas y a las secciones delgadas, y una mayor elasticidad a toda la pieza cuando está sometida a vibraciones o a cargas impulsivas. Además, el forjado tiene efectos beneficiosos sobre la microestructura de un metal en cuanto que aumenta su resistencia interna, elimina los gránulos, cierra los poros producidos por burbujas de gas y une aquellos estratos de la aleación que tienen una composición ligeramente distinta y que no se han mezclado bien durante el refinado. Las técnicas y los utillajes fundamentales del forjado han sido desarrollados por los herreros desde la remota Antigüedad y conservan sus nombres tradicionales. Los herreros empleaban distintos martillos y cinceles, y un yunque sobre el que apoyaban la pieza a trabajar. El yunque es un bloque de hierro tratado térmicamente y dotado de dos picos puntiagudos colocados cada uno en un extremo, que se emplean para curvar las piezas. Para calentar el trozo de metal, se utilizaba un horno, llamado *forja*, situado a la altura de una mesa cuya temperatura se podía aumentar mediante la oxidación del aire insuflado con un fuelle.

Técnicas fundamentales La forja incluye distintas fases, en las que se calienta varias veces el metal. Estas fases se planifican con mucho detenimiento para no fatigar al metal. Un martilleo excesivamente violento o demasiado veloz puede provocar un endurecimiento debido al esfuerzo, aumentando la fragilidad del metal. Un calentamiento desmesurado provocará un exceso de cascarilla (capa de óxido), desperdiciándose metal y dejando la superficie del producto áspera, a veces incluso de forma irreparable.

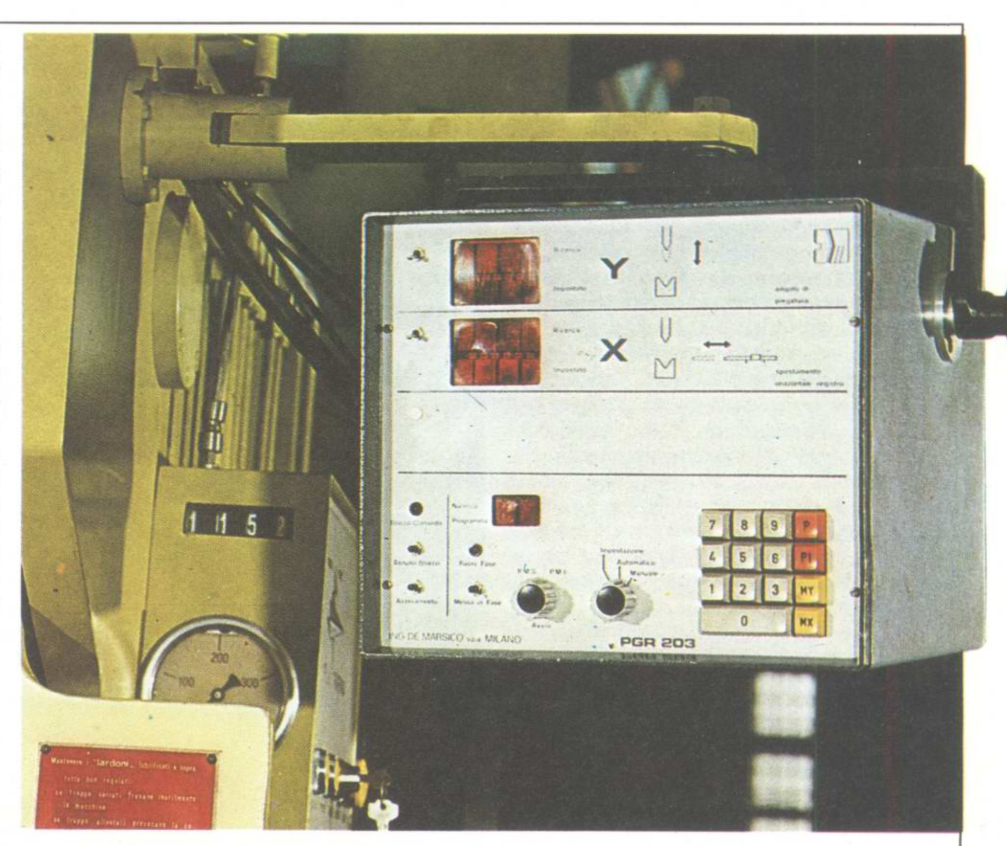
El proceso se inicia en los hornos (de gas o eléctricos), donde el metal es calentado hasta una temperatura tal que alcance un estado plástico. A continuación se inicia el proceso de forja propiamente dicho. Los procesos de forja se clasifican generalmente según el tipo de instalación empleada para la obtención de la pieza. 1) *Forja con martillo.* Consiste en la aplicación de martillos movidos mecánicamente ejecutando una labor parecida al



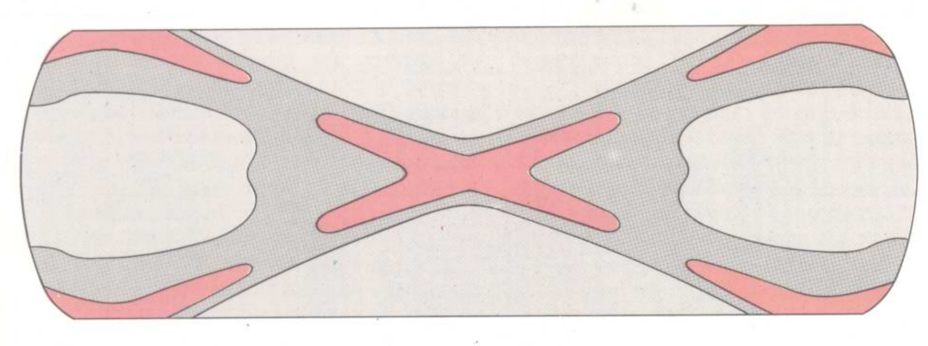
En la forja de piezas metálicas se emplean máquinas de gran potencia, como esta prensa plegadora. El pistón superior se puede inclinar respecto de la matriz inferior, y posee cuatro velocidades: aproximación rápida, ralentización a la cota de trabajo deseada, velocidad de trabajo lenta y retorno veloz.

La prensa, que tiene una potencia de 230 toneladas, posee mandos hidráulicos con control a pedal y telemando. Es posible montar una centralita de mando numérico (foto de la página siguiente).

clásico trabajo del hierro. 2) *Forja con estampa*. El estampado es similar a la forja de martillo, excepto que el *tocho* caliente se va conformando entre matrices a medida que es golpeado. 3) *Forja con prensa*. Las operaciones descritas en los procesos anteriores se completan con una sola aplicación de la fuerza de forja por medio del aplastamiento relativamente lento con una prensa hidráulica. 4) *Forja por recalcado*. El recalcado es una operación consistente en comprimir sobre sí misma una pieza metálica, generalmente cilíndrica, golpeándola con un martillo o punzón en el sentido de su eje longitudinal. 5) *Forja por laminación*. El tocho caliente es obligado a pasar entre dos rodillos mecanizados, de manera que den a las piezas la forma deseada. De este modo se fabrican pernos para cables, cinceles de carpintero, etcétera. 6) *Forja en frío*. Se emplea cuando la deformación es pequeña o cuando el material tarda en llegar a un estado de fragilidad.



En el gráfico de la página anterior vemos la relación entre la temperatura de fusión y distintas modalidades de elaboración: en frío, a temperatura intermedia y en caliente. Como se puede ver, la posibilidad de elaboración aumenta con la temperatura para los metales brutos de grano grueso (en rojo) y es prácticamente exclusiva, pero con límites mucho más restringidos, para piezas de grano fino (en azul).

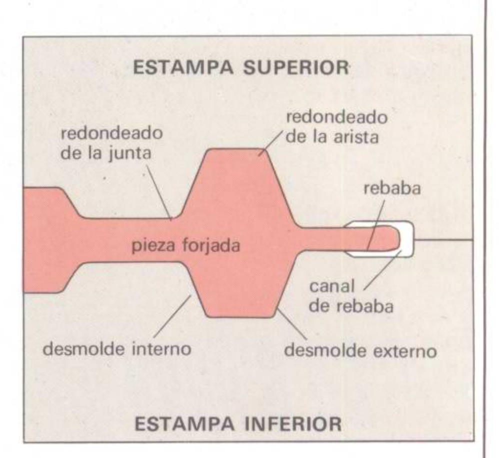


El esquema bajo estas líneas se refiere al plano de cálculo de las estampas de forja. En rosa tenemos la pieza forjada, y en gris, la pareja de estampas. A la izquierda, una simulación por ordenador para prever las distintas velocidades de deslizamiento de los planos de la pieza forjada mediante la técnica isotérmica en caliente (así, vemos: en rosa, valores altos de velocidad de deslizamiento; en gris oscuro, valores intermedios; y en gris claro, valores bajos).

Recientes innovaciones en las técnicas de forja Tres nuevas técnicas están revolucionando la industria de la forja: son técnicas que producen forjados de forma prácticamente «limpia», o sea, productos que no necesitan en absoluto —o sólo requieren en pequeña medida— operaciones de cortado, esmerilado o abrillantado para darles su forma definitiva, ahorrando así tiempo, energía, costos de maquinaria y metal.

En la *forja con estampa caliente*, la pieza tiene que estar mucho más caliente que en la forja convencional, y, además, también tienen que estar calientes las estampas. En la *forja isotérmica*, las estampas y la pieza se calientan prestando una especial atención a la uniformidad de la distribución de la temperatura. Estos procesos se aplican actualmente a costosas aleaciones especiales con puntos de fusión altísimos, para producir piezas de gran precisión, como las palas para las instalaciones de turbinas de gas de alta velocidad. El llamado *hiping* (*hip* quiere decir *hot isostatic pressing*, es decir, "estampado isostático a alta temperatura") rompe totalmente con los esquemas tradicionales de la forja. Este proceso (pulvimetalurgia) consiste en colocar metal en polvo en un contenedor metálico y simultáneamente calentarlo y comprimirlo en un autoclave, es decir, una cámara hermética llena de vapor a alta temperatura y mucha presión. Con este método se consiguen aleaciones de una uniformidad altísima, exentas de imperfecciones en su microestrutura derivadas de la variación de temperatura y presión que se producen sobre la superficie de la pieza forjada. El *hiping* puede producir formas sencillas, o preformas, que posteriormente serán forjadas con otros métodos.

Entre las innovaciones que se refieren a las máquinas, cabe destacar la introducción de servomecanismos, que permiten un trabajo más "limpio" y veloz y la utilización, actualmente muy extendida, del control numérico, especialmente en la producción de piezas en grandes series o en la de piezas con numerosas fases de elaboración. La máquina está equipada con un programador electrónico de elaboración que, al controlar todos sus movimientos, permite una elaboración secuencial totalmente automatizada de la pieza. Durante la preparación de la elaboración de la pieza se puede emplear un ordenador a fin de simular las condiciones que se producen en el forjado real.



Véase **Metales, trabajo de los**

Formas cuadráticas, cónicas y cuádricas

Todo el que haya seguido un curso elemental de matemáticas recuerda sus penas por culpa de las ecuaciones de segundo grado. Al resolverlas se trata de saber qué números, sustituidos en lugar de la incógnita *x*, satisfacen la ecuación $ax^2+bx+c=0$. Esta incluye en su primer miembro la más simple de las expresiones cuadráticas (la que corresponde a una sola variable) de las muchas que aparecen en numerosas cuestiones de tipo teórico o aplicado. Por otra parte, si se representan en unos ejes cartesianos los pares de puntos (x,y) que cumplen $y=ax^2+bx+c$ se obtiene una curva que se llama *parábola* (una de las conocidas como *cónicas*). Precisamente resolver la ecuación de segundo grado equivale a hallar los puntos de la parábola que cortan a la recta y=0.

Los griegos estudiaron, en su genial concepción de la geometría, las curvas que resultan de cortar un cono de revolución por un plano. Dos milenios más tarde los procedimientos cartesianos permitieron ver que tales curvas eran, precisamente, las que tenían por ecuaciones polinomios de segundo grado en las coordenadas. Actualmente, en el Algebra y la Geometría modernas, se estudian unas funciones de $\mathbb{R}^n$ en $\mathbb{R}$, llamadas *formas cuadráticas*, que permiten estudiar tanto las viejas cónicas como otros entes matemáticos análogos, pero de dimensión *n*.

Una *forma cuadrática* puede definirse de varios modos. Uno elemental es considerarla como una función polinómica homogénea de segundo grado en *n* variables; es decir:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}x_ix_j =$$
$$= a_{11}x^2{}_1 + 2a_{12}x_1x_2 + \dots + a_{nn}x^2{}_n$$

En la anterior expresión se ha supuesto, como es habitual, que $a_{ji}=a_{ij}$; ello no supone ningún inconveniente porque si se quisiera dar la forma *f* por unos coeficientes c_{ij} no simétricos bastaría definir

$$a_{ij} = \frac{1}{2}(c_{ij}+c_{ji})$$

para tenerla en forma simétrica.

Utilizando el cálculo matricial, llamando **x** a la columna de los $(x_1, x_2, \dots x_n)$, **x'** a su transpuesta, es decir la propia fila $(x_1, x_2, \dots x_n)$, y *A* a la matriz de los a_{ij}, la forma puede ponerse como el producto de matrices $f(\mathbf{x}) = \mathbf{x}' A\, \mathbf{x}$.

Podría darse también una definición directa, es decir del siguiente modo: sea el espacio vectorial $\mathbb{R}^n$, se llama forma cuadrática en él a una aplicación del mismo en $\mathbb{R}$ tal que cumple que, para todo $\alpha \in \mathbb{R}$ y todo $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$, $f(\alpha\mathbf{x}) = \alpha^2 f(\mathbf{x})$ y además para todo par $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbb{R}^n$ se tiene que $f(\mathbf{x}+\mathbf{y}) - f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{y})$ es una forma bilineal simétrica en **x** e **y** (es decir: lineal en cada una de ellas cuando la otra es constante e intercambiables ambas variables). Se tiene además que si $g(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ es una forma bilineal $g(\mathbf{x}, \mathbf{x})$ es cuadrática. Es fácil ver que esta última definición permite reencontrar las anteriores. Es evidente, por otra parte, que, en resumidas cuentas, el estudio de la forma se puede deducir del de la matriz *A*.

No es posible en pocas palabras plantear, y mucho menos resolver, los numerosos problemas que el Algebra trata en torno a las formas cuadráticas. Sólo cabe aludir a la cuestión fundamental. Esta es la siguiente: reducir la forma a otra *equivalente*, que tome los mismos valores numéricos, pero más sencilla, por ejemplo que sólo tenga cuadrados.

La técnica a seguir para conseguirlo es realizar transformaciones lineales del tipo $\mathbf{x} = C\mathbf{y}$ (con *C* matriz cuadrada no singular cuya tanspuesta se denota *C'*) que convierten la forma en **x** en otra del modo:

$$\mathbf{x}'A\mathbf{x} = \mathbf{y}C'AC\mathbf{y} = \mathbf{y}B\mathbf{y}$$

en la que $B = C'AC$ es también simétrica.

Puede por este procedimiento reducirse la forma a una suma algebraica de cuadrados. Precisamente dos *formas* son *equivalentes* si el número de coeficientes positivos, negativos y nulos de los cuadrados es el mismo en ambas.

Sin embargo, en muchos problemas (por ejemplo, de geometría) interesa usar transformaciones lineales cuyas matrices sean ortogonales (porque son las que corresponden a cambios de ejes rectangulares). Entonces el paso de la matriz *A* a la *B* es de la forma $B = C^{-1}AC$ (porque en el caso de las matrices ortogonales $C^{-1} = C'$) y se tiene que las matrices *A* y *B* son semejantes; la más sencilla de las matrices semejantes a una dada simétrica, es diagonal, siendo los términos de la diagonal precisamente los autovalores de la matriz (es decir: los números λ para los que existe un vector **x**, llamado autovector, tal que $A\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x}$) y siendo la matriz de transformación la que conduce a tomar las direcciones de dichos autovectores (que son ortogonales en el caso de las matrices simétricas) como ejes de coordenadas. Además, la expresión $\mathbf{x}'A\mathbf{x}$ toma sus extremos (máximos y mínimos) para los **x** que son autovectores.

Estos resultados tan sencillos son, sin embargo, importantes en numerosas aplicaciones, entre otras al estudio de las *cónicas* y sus análogos en el espacio. ¿Pero qué es una *cónica*?

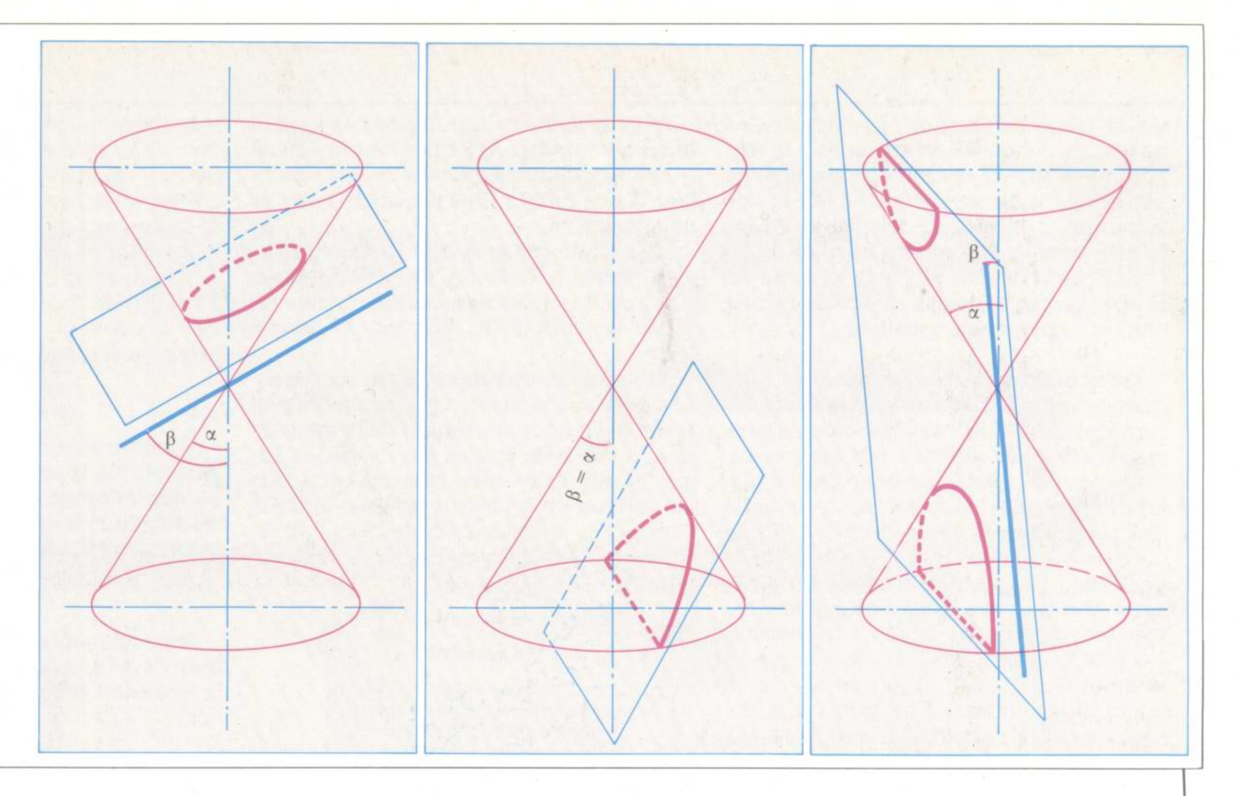
Las secciones cónicas El cono circular es una de las figuras del espacio más simples y conocidas. Puede definirse de varias formas. Por ejemplo, como la superficie engendrada por el lado de un ángulo que gira 360º alrededor del otro lado o, lo que es equivalente, como la superficie formada por todas las rectas del espacio que cortan a otra fija con ángulo constante (el llamado semiángulo cónico). Aún cabría otra definición: la del cono como superficie formada por las rectas del espacio que se apoyan en una circunferencia y pasan por un punto fijo situado en una perpendicular al plano de la circunferencia, trazada por el centro de ésta. Con cualquiera de estas definiciones queda puesto de manifiesto que el cono de revolución es una superficie reglada, es decir, una superficie tal que está formada por infinitas rectas. Hay superficies regladas muy complejas (basta, por ejemplo, mover una recta en el espacio de cualquier modo para obtener una de ellas); sin embargo, las más simples son las cónicas y la cilíndricas. Las primeras son las formadas por rectas que pasan por un vértice común y por una curva (plana o alabeada) del espacio que no contiene a dicho vértice; las segundas son las formadas por rectas que se apoyan, como en el caso anterior, en una curva y son paralelas a una dirección dada; en tal sentido pueden considerarse como casos límites o degenerados de las superficies cónicas (cuando el vértice se ha ido "al infinito").

La superficie cónica de revolución fue estudiada desde antiguo y, sobre todo, examinado el comportamiento de sus secciones; es decir, de las curvas intersecciones de la misma con planos. Los grandes matemáticos griegos llegaron, en este tema, a un conocimiento profundo y, para sus posibilidades, casi exhaustivo.

Si se hace pasar un plano por el vértice de un cono de revolución de semiángulo cónico α se obtienen los resultados siguientes: si el plano forma con el eje del cono un ángulo $\beta < \alpha$ corta al mismo en dos generatrices (la sección es, por tanto, un ángulo cuya medida varía desde 2α, cuando el plano contiene al eje, hasta 0° cuando $\beta = \alpha$); si el plano forma con el eje un ángulo $\beta = \alpha$ es tangente al cono (la sección del caso anterior queda reducida a la generatriz de contacto entre el plano y el cono); por último, si el ángulo es $\beta > \alpha$ la sección es, simplemente, el propio vértice.

¿Qué sucede si ahora se corta por un plano que no pasa por el vértice? Los resultados son mucho más interesantes. Si el plano forma un ángulo $\beta = 90°$ con el eje, corta a todas las generatrices y la sección es, como cabría esperar, una circunferencia (de radio proporcional a la distancia entre el plano y el vértice). Si el ángulo β cumple $\alpha < \beta < 90°$ sigue cortando a todas las generatrices, pero a cada una de ellas la corta a una longitud distinta desde el vértice, y la sección es una especie de circunferencia achatada en una dirección y alargada en otra que se llama *elipse*. Si el plano forma un ángulo $\beta = \alpha$, es decir, es paralelo a una generatriz (y al plano tangente en ella), resulta que, evidentemente, no corta a la misma y la sección es una curva abierta, la llamada *parábola*; ello ha sido consecuencia de la creciente apertura de las elipses en una dirección según ha ido acercándose el ángulo β al α, lo que técnicamente suele expresarse diciendo que "la parábola tiene un punto *impropio*". Si el ángulo $\beta < \alpha$ entonces el plano es paralelo a dos generatrices —las que corta el plano que pasa por el vértice formando el mismo ángulo— y la sección resultante es una curva abierta con dos ramas, ya que el plano corta a unas generatrices del cono por uno de los semiconos y a otras

Una superficie cónica de revolución, definida por su semiángulo cónico α, al cortarla por un plano, da intersecciones que son una *elipse*, una *parábola* o una *hipérbola* (con sus dos ramas) según que el ángulo de corte, β, sea mayor, igual o menor que α.



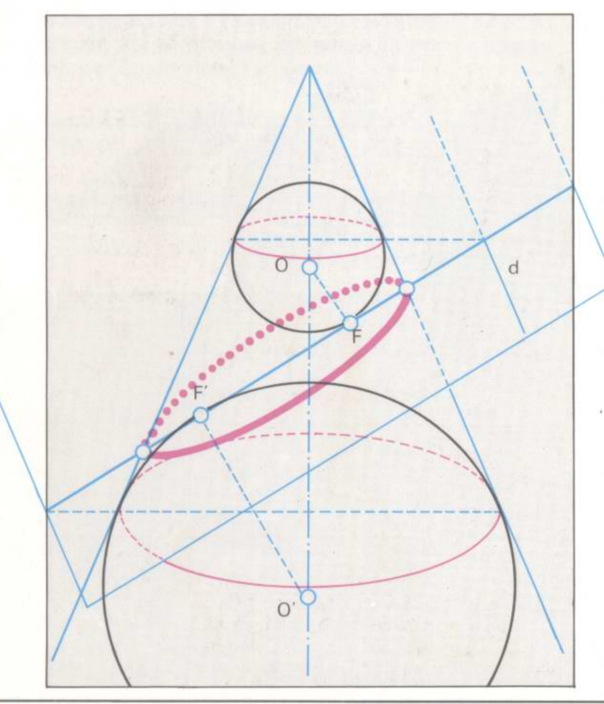
por el otro; dicha curva, llamada *hipérbola* tiene, en consecuencia, dos puntos *impropios*. Señalemos que un punto impropio, o como se dice, con menos precisión, un *punto del infinito* es, en realidad, una dirección. (Dos paralelas tienen en común un mismo punto *impropio* o *del infinito*, su dirección).

La parábola aparece así como la transición entre elipses e hipérbolas; la circunferencia, como el caso límite de las elipses cuando $\beta = 90°$. El punto es el caso límite de la elipse, en particular circunferencia, correspondiente a un plano que corta con ángulo $\beta > \alpha$ y que pasa por el vértice. Análogamente el par de rectas es el límite de la hipérbola, cuando el plano de ángulo $\beta < \alpha$ pasa por el vértice; más particularmente una recta (que puede considerarse doble) es el límite de la parábola cuando el plano de ángulo $\alpha = \beta$ pasa por el vértice (y, consecuentemente, es tangente al cono).

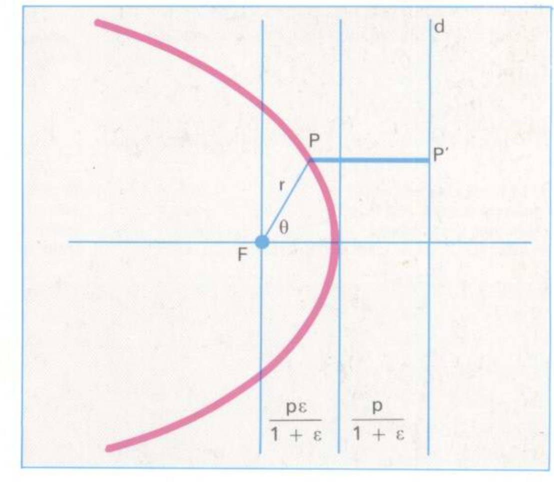
También puede examinarse el caso de las secciones del cilindro de revolución (cono degenerado, cuyo vértice es impropio). En tal caso sólo hay secciones elípticas, que se convierten en circulares cuando el plano es perpendicular a las generatrices, o pares de rectas paralelas, cuando el plano es paralelo a las mismas, que pueden confundirse en una sola (doble) cuando el plano es tangente al cilindro.

Si por el eje del cono se traza un plano perpendicular al plano de la sección, resulta obvio que ésta es simétrica respecto a aquél. La recta intersección de ambos planos (que será eje de simetría de la cónica) se llama *eje focal* de la cónica. Se llama *foco*, precisamente, a un punto de dicho eje que se obtiene como contacto del mismo con una circunferencia definida del siguiente modo: está contenida en el plano perpendicular al de la sección y es tangente interior a las dos generatrices que corta el mismo y al citado eje focal. Cuando se trata de elipses hay dos circunferencias de un mismo lado del cilindro y en el caso de hipérbolas una a cada lado (en ambos, por tanto, dos focos); en el caso parabólico sólo uno.

Puede, si se quiere, en vez de considerar la citada circunferencia, hacerlo con las esferas inscritas en el cono y tangen-



En la figura se ve gráficamente la definición del eje focal, recta *FF'*, de los focos *F* y *F'* y de una de las directrices.



Como se indica en el texto principal, una cónica es el lugar geométrico de los puntos cuya relación de distancias al foco *F* y a la directriz *d* es una constante ε. A la distancia de *F* a *d* se le ha denotado por *p*.

tes al plano de la sección; entonces los puntos de contacto son los focos y la recta que los une al eje focal. Precisamente las dos circunferencias, una en el caso de la parábola, definidas por el contacto de la esfera con el cono están en planos que prolongados cortan al de la sección en sendas rectas llamadas *directrices* (cada una correspondiente a un foco).

Otras definiciones de las cónicas Los griegos, en su clasificación de las curvas consideraban a las cónicas como *lugares espaciales* y las definían por su generación como secciones del cono por un plano. Sin embargo conocían sus propiedades como *lugares geométricos en el plano*. Con unos pocos cálculos geométricos (más bien trigonométricos) puede obtenerse una propiedad métrica sumamente sencilla que define a las tres cónicas —elipse, parábola e hipérbola— y que es la siguiente: la razón de distancias de un punto de una cónica a un foco y a la correspondiente directriz es una constante; dicha constante se llama excentricidad de la cónica y se denota por ε, su valor coincide con el cociente $\cos\beta/\cos\alpha$. Elipses, parábolas e hipérbolas quedan definidas, respectivamente, como las cónicas de excentricidad menor, igual o mayor que la unidad; la circunferencia sería el caso límite de excentricidad nula (las dos directrices se han alejado infinitamente y los dos focos se han confundido en uno).

En el caso de elipses e hipérbolas cabe utilizar otra propiedad como definición, que puede probarse es equivalente a la anterior y que es la siguiente: una elipse —respectivamente una hipérbola— es el lugar geométrico de los puntos cuya suma —respectivamente diferencia— de distancias a dos puntos fijos llamados focos es una constante.

Las anteriores propiedades han permitido, desde la creación de las coordenadas y de la geometría analítica, obtener de modo sencillo las ecuaciones de las cónicas.

Si se toman, en primer lugar, coordenadas polares (es decir, cada punto del plano se define por la longitud del segmento que le una a un origen fijo r y por el ángulo θ que éste forma con una recta fija) con origen en un foco y con eje el focal, llamando p a la distancia del foco a la directriz resulta que siempre se tendrá (ver figura)

$$\frac{\text{Distancia al foco}}{\text{Distancia a la directriz}} = \frac{r}{p - r\cos\theta} = \varepsilon$$

y, por consiguiente, despejando r

$$r = \frac{p\varepsilon}{1 + \varepsilon\cos\theta}$$

Si se pasa a ejes cartesianos rectangulares con el mismo origen que los polares, eje de abscisas el focal y de ordenadas el perpendicular (paralelo, por tanto, a la directriz) la ecuación queda

$$r + \varepsilon r\cos\theta = \sqrt{x^2 + y^2} + \varepsilon x = p\varepsilon$$

que, puede ponerse (elevando al cuadrado y ordenando términos) como

$$(1 - \varepsilon^2)x^2 + 2p\varepsilon^2 x + y^2 = \varepsilon^2 p^2$$

Suele preferirse, en los casos de la elipse e hipérbola, usar como ejes los de simetría de las mismas (es decir el focal y su perpendicular por el llamado *centro de la cónica*, punto medio del segmento que une los focos). Entonces, una simple traslación en el eje de abscisas y algunos cálculos conducen a las ecuaciones (llamadas reducidas o canónicas)

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

respectivamente para elipse e hipérbola, donde las coordenadas lo son ahora respecto a los nuevos ejes y los valores a, b, c, p y ε están relacionados en la forma que se indica en figura adjunta.

Por otra parte, en el caso de la parábola, teniendo en cuenta que $\varepsilon = 1$ y tomando el eje de ordenadas en la tangente (lo que supone un desplazamiento de $p/2$ respecto al anterior) da la ecuación

$$y^2 = -2px$$

Si como es usual se estudia la hipérbola simétrica respecto al eje y de la dada (o, conservando ésta, se cambia al sentido del eje x) la ecuación que queda, la llamada reducida, es

$$y^2 = 2px$$

Análogamente, si se intercambian los ejes x e y (y se llama k a $1/2p$) se obtiene la ecuación de una parábola de eje vertical

$$y = kx^2$$

que es la expresión cuadrática más sencilla en una sola variable.

Por otra parte, si en la ecuación de elipses e hipérbolas se hace $a = b$ se obtienen dos casos notables

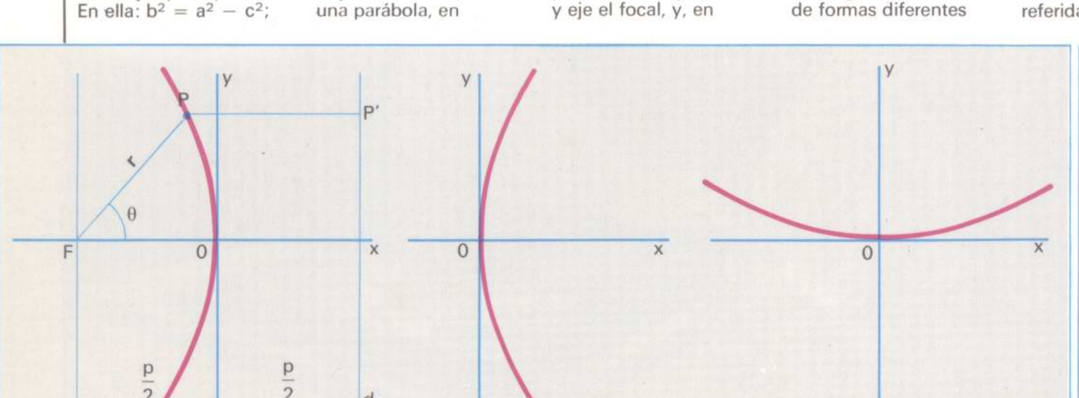
$$x^2 + y^2 = a^2$$
$$x^2 - y^2 = a^2$$

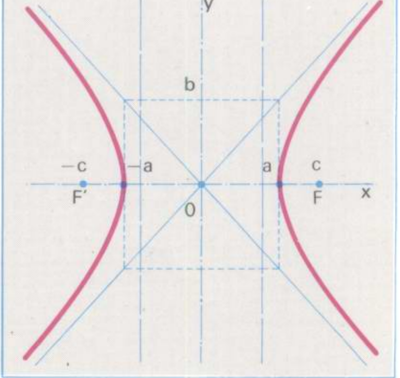
que son, respectivamente, las ecuaciones de la *circunferencia* y de la llamada *hipérbola equilátera*. En esta última, si se cambian los ejes tomando como nuevos las diagonales de los antiguos, resulta que la nueva ecuación de la hipérbola equilátera es $xy = a$ ó $y = a/x$ y los ejes nuevos son *tangentes* en el infinito (lo que se llaman *asíntotas*).

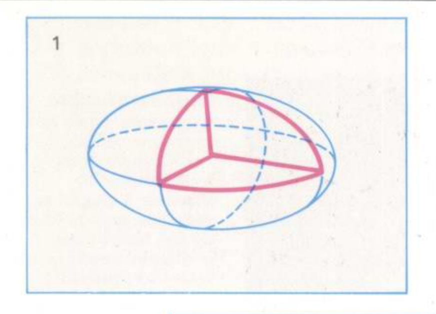
Las asíntotas de la hipérbola son en general las dos rectas $y = \pm(b/a)x$ que, como se ha dicho, se reducen a las diagonales $y = \pm x$ cuando la hipérbola es equilátera.

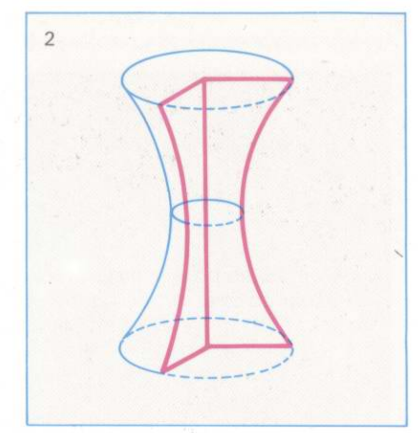
Variedades cuadráticas. Cuádricas Se ha visto que las ecuaciones de las cóni-

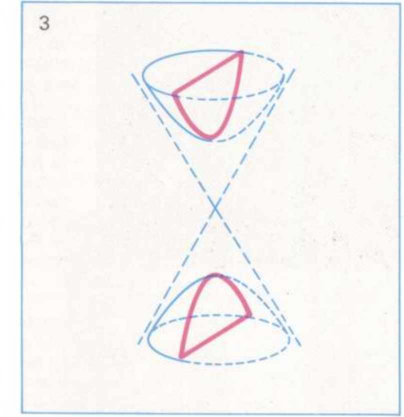
En la figura sobre estas líneas, la elipse, referida a sus ejes principales. En ella: $b^2 = a^2 - c^2$; $\varepsilon = \frac{c}{a}$ y $p = \frac{b^2}{c}$. Bajo estas líneas, una parábola, en el primer caso con sus coordenadas polares, de origen F y eje el focal, y, en los siguientes, con coordenadas rectangulares tomadas de formas diferentes (ver texto principal). En la figura bajo estas líneas, una hipérbola referida a sus ejes principales. Se tiene que $b^2 = c^2 - a^2$; $\varepsilon = \frac{c}{a}$ y $p = \frac{b^2}{a}$.

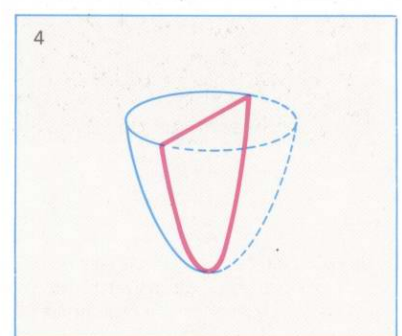


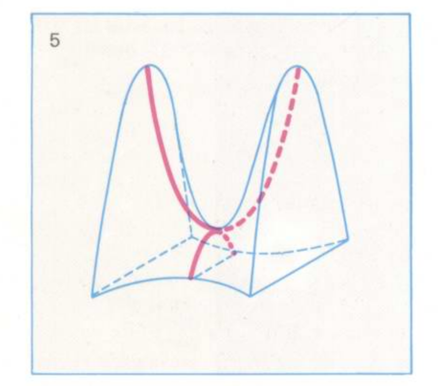












En estas ilustraciones se muestran: 1) un elipsoide; 2) un hiperboloide de una hoja; 3) un hiperboloide de dos hojas; 4) un paraboloide elíptico; 5) un paraboloide hiperbólico. En todos los casos se muestran también distintos tipos de secciones.

cas en un sistema cartesiano de coordenadas tienen forma de expresiones cuadráticas. Pero cabe preguntarse: ¿la expresión más general

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0$$

será también la ecuación de una cónica, aunque lo sea respecto a unos ejes coordenados cualesquiera? O, más general, ¿en el espacio euclídeo *n*-dimensional E_n la expresión

$$\sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}x_i x_j + 2\sum_{i=1}^{n} b_i x_i + c = 0 \qquad (a_{ji} = a_{ij})$$

representará una hipersuperficie análoga a las cónicas del plano? ¿En particular que sucede en el caso E_3?

En general se llama *cuádrica* o *variedad cuadrática* a la colección de puntos $\mathbf{x} \in E_n$, o lo que es lo mismo n-tuplas $(x_1, x_2, \ldots x_n) \in \mathbb{R}^n$, que satisfacen una ecuación como la dada.

Los resultados que el Algebra proporciona sobre formas cuadráticas permiten asegurar que haciendo transformaciones ortogonales y traslaciones de las coordenadas dadas, x_i, a las nuevas, z_i, se puede reducir la ecuación de la variedad a una de las dos siguientes

$$\sum_{i=1}^{k} p_i z_i^2 + p_0 = 0$$

$$\sum_{i=1}^{k} p_i z_i^2 + p_{k+1} z_{k+1} = 0$$

(con $k \leqslant n$ y los coeficientes p no nulos). Estas son, precisamente, las *formas reducidas* o *canónicas*.

Según los signos que tengan los coeficientes *p* resultan diferentes tipos de variedades. En las tablas adjuntas se dan los casos correspondientes a E_2 (cónicas) y a E_3 (cuádricas propiamente dichas).

Entre las cuádricas en E_3 se encuentran superficies que tienen cierta semejanza y relación con las cónicas. Aparte de conos, cilindros y pares de planos, aparecen los *elipsoides*, los *hiperboloides* de una o dos hojas y los *paraboloides* elíptico e hiperbólico que se representan en las ilustraciones.

Véase **Area y volumen; Curvas y superficies; Espacios vectoriales y afines; Geometría analítica; Matrices**

TABLA I

Elipse	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$
Elipse imaginaria	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + 1 = 0$
Punto (par de rectas imaginarias que se cortan en un punto real)	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0$
Hipérbola	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$
Par de rectas que se cortan	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 0$
Parábola	$y^2 - 2px = 0$
Par de rectas paralelas	$x^2 - a^2 = 0$
Par de rectas paralelas imaginarias	$x^2 + a^2 = 0$
Par de rectas coincidentes	$x^2 = 0$

TABLA II

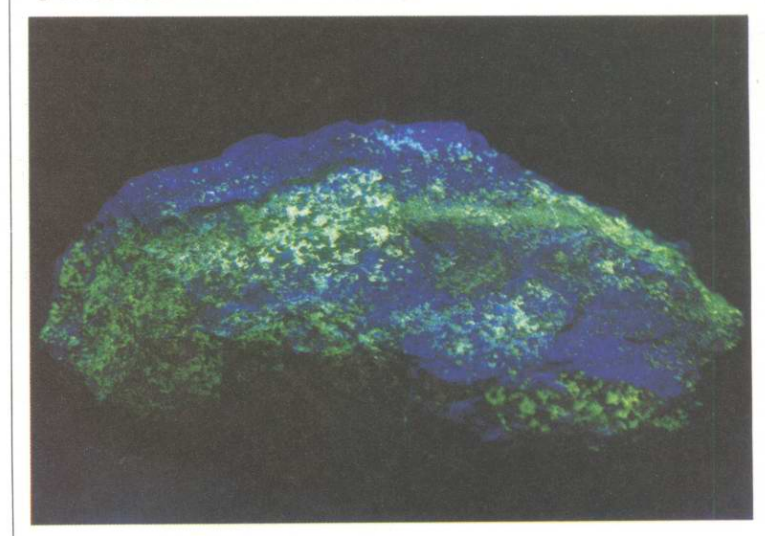
Elipsoide	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} - 1 = 0$
Elipsoide imaginario	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} + 1 = 0$
Hiperboloide de una hoja	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} - 1 = 0$
Hiperboloide de dos hojas	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} + 1 = 0$
Cono de segundo orden	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$
Cono de segundo orden imaginario	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 0$
Paraboloide elíptico	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 2cz = 0$
Paraboloide hiperbólico	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - 2cz = 0$
Cilindro elíptico	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$
Cilindro elíptico imaginario	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + 1 = 0$
Par de planos imaginarios que se cortan	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0$
Cilindro hiperbólico	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$
Par de planos que se cortan	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 0$
Cilindro parabólico	$y^2 - 2px = 0$
Par de planos paralelos	$x^2 - a^2 = 0$
Par de planos paralelos imaginarios	$x^2 + a^2 = 0$
Par de planos coincidentes	$x^2 = 0$

Fosforescencia

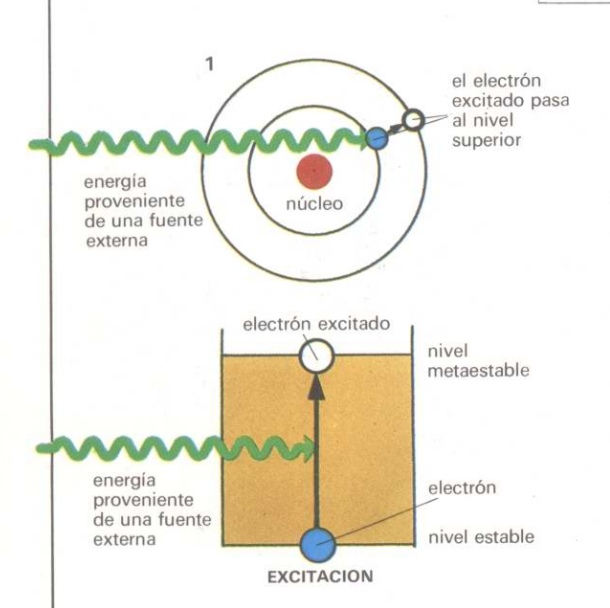
Muchos alquimistas de siglos pasados llegaron a entender muy bien el viejo dicho de "no es oro todo lo que reluce", cuando intentaban transformar en oro el plomo y otras sustancias de escaso valor. En 1602, Vincenzo Casciarolo, un alquimista y zapatero italiano, calentó disulfato de bario (y otras impurezas contenidas que él desconocía), transformándolo en una sustancia que resplandecía en la oscuridad. Sin embargo, y a pesar de todo el revuelo que provocó la "piedra fosfórica de Bolonia" (como se llamó a esta sustancia), no hizo que se enriqueciera su descubridor, puesto que el brillo que de ella se desprendía no era el del oro, sino que era producido por el fenómeno de fosforescencia, constituyendo el primer ejemplo de este fenómeno del que la ciencia tiene noticia.

La *fosforescencia*, al igual que la *fluorescencia*, constituye un tipo peculiar de luminiscencia debida a la emisión de luz por parte de algunos materiales que no puede atribuirse únicamente a su temperatura. Esta luminiscencia es debida a un *residuo luminoso* que se emite por parte de esta sustancia después de ser expuesta a una fuente de energía, como, por ejemplo, una radiación electromagnética (rayos X, rayos ultravioleta e infrarrojo), o un bombardeo de partículas o ciertas reacciones químicas.

¿FOSFORESCENCIA O FLUORESCENCIA?



El mineral de uranio, a la izquierda, emite una luminiscencia típica y prolongada al ser irradiado con luz ultravioleta. Según la distinción previa entre los dos fenómenos, se debería entonces definir este mineral como material fosforescente. Pero dicha emisión luminosa no se encuentra influenciada por la temperatura del material, como debiera ocurrir en el caso de la fosforescencia. Por ello se prefiere definir en la actualidad este tipo de emisión con el término de *fluorescencia retardada*.



El electrón excitado por una radiación salta a un nivel superior (1), del cual vuelve a descender cediendo la energía absorbida en forma de emisión luminosa (2). El gráfico (3) muestra →

El estudio de la fluorescencia debe mucho a un físico francés de mediados del siglo XIX, Alexandre Edmond Becquerel, que, además de elaborar un prototipo de lámpara fluorescente, inventó el *fosforoscopio*, que permite hacer mediciones de la luz emitida en períodos de 0,00001 (10^{-5}) segundos. Desde entonces, la fluorescencia y la fosforescencia se consideran estados distintos por la duración de sus residuos luminosos: la fluorescencia tiene una duración que va de 10^{-8} a 10^{-5} segundos, desde que es retirada la fuente de energía; la fosforescencia puede durar desde 10^{-8} segundos hasta varias horas, a veces incluso días. Además, algunas sustancias fosforescentes pueden "almacenar" energía, emitiendo luz durante períodos de meses después de la exposición: basta para ello con estimular la emisión mediante el calentamiento de la sustancia.

Sin embargo, y dado que existe una considerable superposición en la resistencia de la emisión luminosa entre las sustancias fluorescentes y fosforescentes, la distinción que se establece entre éstas basándose únicamente en ese intervalo de tiempo no es exacta. En 1925, el físico francés François Perrin sugirió una clasificación más precisa, definiendo la fluorescencia como un residuo luminoso *independiente* de la temperatura del objeto fluorescente: una lámpara fluorescente, por ejemplo, resulta fría al tacto, a pesar de que su producción de energía sea igual o incluso superior a la de una bombilla normal de filamento incandescente. Los residuos luminosos de algunas sustancias como los compuestos de uranio, que pueden durar segundos u horas, se definirían en este sentido como *fluorescencia lenta*, puesto que sigue siendo un fenómeno independiente de la temperatura del compuesto.

En la fosforescencia, sin embargo, la duración del residuo luminoso depende de la temperatura de la sustancia y de la intensidad de la fuente de energía que la ha excitado. El residuo luminoso que, en estas circunstancias, se observa a temperaturas muy bajas es mínimo o nulo; a temperaturas algo más elevadas el residuo es débil pero prolongado; al aumentar aún más la temperatura, se puede observar que el residuo crece en intensidad pero disminuye en su duración.

Teoría de la emisión luminosa En 1914, el físico danés Niels Bohr descubrió que los átomos y las moléculas poseen niveles energéticos, y que, por ello, cuando los electrones pasan de un nivel energé-

tico a otro, emiten o absorben luz de una frecuencia y un espectro de bandas característicos.

El fenómeno de la fosforescencia (y de la fluorescencia) tendría lugar cuando un electrón, al ser excitado por la absorción de energía proveniente de una fuente externa, pasa desde su nivel normal de energía a un estado estable superior (o metaestable) y vuelve a descender a su nivel normal. Cuando, por ejemplo, se expone un tubo de cuarzo que contenga vapor de sodio a baja presión a la acción de la luz ultravioleta, el tubo resplandece con una luminosidad amarillenta: los electrones de los átomos de sodio han sido excitados al absorber energía proveniente de la luz ultravioleta, disipando parte de esta energía proveniente de la luz ultravioleta en los choques contra los demás átomos y las paredes del tubo, y emitiendo luz amarilla al descender a su nivel energético normal.

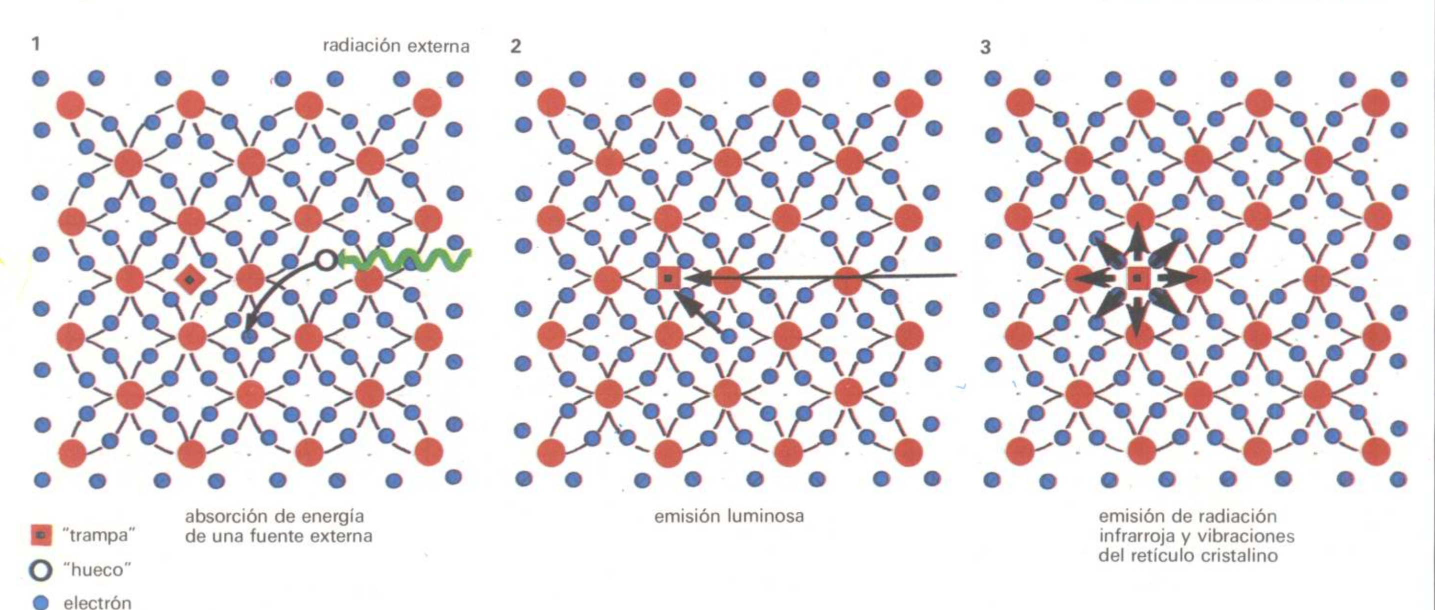
como el níquel, el manganeso, el cobre o el bismuto; el sulfuro de cinc activado con el sulfato de cobre y expuesto a la luz ultravioleta emite una luz verde fosforescente. Los compuestos activados se obtienen mediante reacciones a temperaturas elevadas que permiten mezclar el polvo finísimo del activador con la sustancia en cuestión. Los activadores constituyen las "trampas" de las estructuras cristalinas del compuesto y permiten de esta forma la captura de los electrones cuando el material es expuesto a una fuente de energía.

Los descubridores de la importancia que poseen los activadores en el fenómeno de la fosforescencia fueron los franceses Philip Lenard (el cual elaboró la teoría de las "trampas" energéticas) y August Verneuil, demostrando así el papel que desempeñó la pequeña cantidad de impurezas contenidas en la formación de la "piedra fosfórica de Bolonia" de Vincenzo Casciarolo.

aplicación práctica en los tubos de rayos catódicos del televisor, en el contador de centelleo que se emplea para medir la radiación de alta energía (rayos X, rayos γ, partículas α y β, etc.), en el análisis químico por fluorescencia de rayos X, en las tintas de imprenta y en los aditivos (blanqueadores) para detergentes. Antes de la aparición de los relojes digitales alimentados por pilas, las sustancias fosforescentes se utilizaban en las esferas luminosas de los relojes y de otros instrumentos que pueden de esta forma consultarse en la oscuridad.

Los primeros haces de luz láser visibles se obtuvieron al elevar los iones de cromo presentes en los rubíes hasta su estado energético excitado, los cuales además dan a esta piedra su fosforescencia característica, y a los primeros láser sus haces de luz roja.

Véase **Atomo; Física de sólidos; Fluorescencia**



Este proceso explica por qué la luz fluorescente emitida tiene en general una longitud de onda superior (y es por tanto menos energética) a la de la onda excitante, puesto que en el intercambio energético se pierde parte de la energía por disipación de calor.

Fosforescencia de los minerales En las sustancias minerales fosforescentes, la emisión de luz está relacionada con la presencia de impurezas o alteraciones (trampas) o centros de captura en la estructura cristalina de la sustancia. Así, la emisión de luz se produce cuando los electrones, excitados por la energía proveniente de una fuente externa, son capturados por las "trampas" y no son expulsados de ellas con una posterior absorción de energía.

Puesto que los cristales puros son retículos perfectos carentes de "trampas", no resultan ser fosforescentes; y por tanto, para obtener luz de cristales sólidos puros se recurre a la adición de *activadores*,

Dado que la estructura cristalina de las sustancias minerales fosforescentes es bastante compleja, se explica fácilmente el que tengan una amplia distribución de líneas en el espectro rojo respecto de moléculas o átomos sencillos; las características del espectro y la cantidad de radiaciones dependen de un cierto número de factores, como la composición del mineral y el tipo y la cantidad de activador presente.

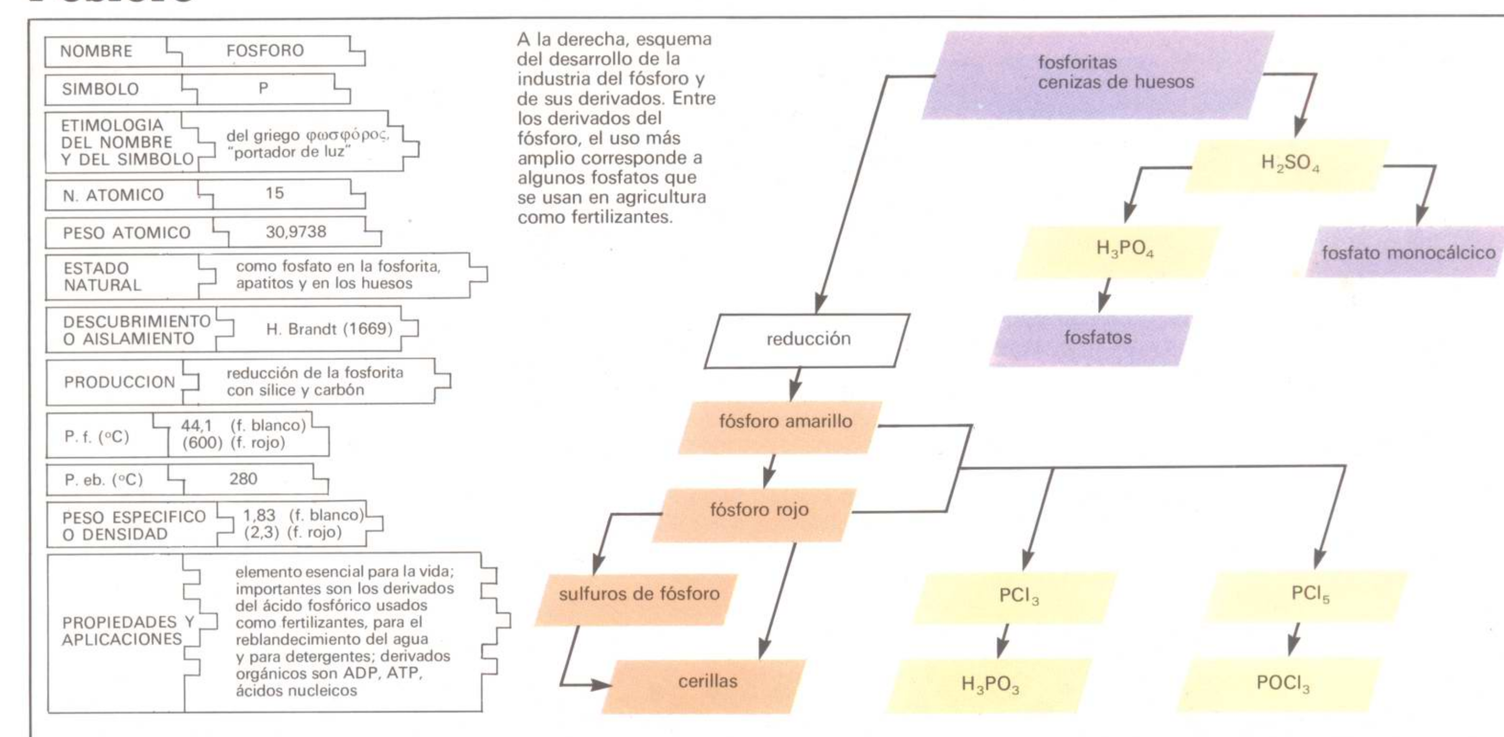
Las sustancias fosforescentes de este tipo son utilizadas sobre todo en la fabricación de lámparas fluorescentes, aunque esta última denominación sea inadecuada, puesto que va a ser la fosforescencia, y no la fluorescencia, la que contribuya a la emisión luminosa.

Aplicaciones de la fosforescencia Como hemos venido describiendo, las aplicaciones del fenómeno de la fosforescencia no pueden diferir de las de la fluorescencia: el fenómeno encuentra una

→ la relación que hay entre temperatura y fosforescencia: a menor temperatura, menor intensidad del resplandor, que entonces tiene una larga duración; a la inversa, conforme aumenta la temperatura, la emisión reduce su duración, pero se hace más intensa.

¿Qué ocurre en un cristal cuando emite luz fosforescente al ser irradiado por una fuente de radiación? (sobre estas líneas). Recordemos que cuando un fotón energetico penetra en un cristal, provoca la formación de una pareja electrón "hueco" (esto es, libera un electrón del retículo, dejando en su lugar una carga positiva llamada "hueco"). El electrón excitado pasa del nivel de valencia al nivel de conducción y migra en el cristal (1). De la misma forma, el "hueco" se desplaza en el cristal, aproximándose a una "trampa" presente en el retículo; la "trampa" captura el "hueco" y en el proceso se emite luz (fosforescencia) (2). Mientras tanto, el electrón que se movía a lo largo del cristal vuelve a la "trampa", que lo captura y neutraliza la energía en exceso (3): en esta segunda captura también se libera energía, pero no en forma de luz, sino en forma de radiaciones infrarrojas y de vibración del retículo cristalino.

Fósforo



NOMBRE	FOSFORO
SIMBOLO	P
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego φωσφόρος, "portador de luz"
N. ATOMICO	15
PESO ATOMICO	30,9738
ESTADO NATURAL	como fosfato en la fosforita, apatitos y en los huesos
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	H. Brandt (1669)
PRODUCCION	reducción de la fosforita con sílice y carbón
P. f. (°C)	44,1 (f. blanco) (600) (f. rojo)
P. eb. (°C)	280
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	1,83 (f. blanco) (2,3) (f. rojo)
PROPIEDADES Y APLICACIONES	elemento esencial para la vida; importantes son los derivados del ácido fosfórico usados como fertilizantes, para el reblandecimiento del agua y para detergentes; derivados orgánicos son ADP, ATP, ácidos nucleicos

A la derecha, esquema del desarrollo de la industria del fósforo y de sus derivados. Entre los derivados del fósforo, el uso más amplio corresponde a algunos fosfatos que se usan en agricultura como fertilizantes.

El fósforo fue obtenido en estado puro por primera vez en 1669, por el alquimista alemán Hennig Brandt, quien utilizó como fuente sedimento de orina evaporada. Fue un descubrimiento totalmente casual, pues los trabajos de Brandt iban dirigidos al hallazgo de la piedra filosofal, capaz de transformar el plomo en oro.

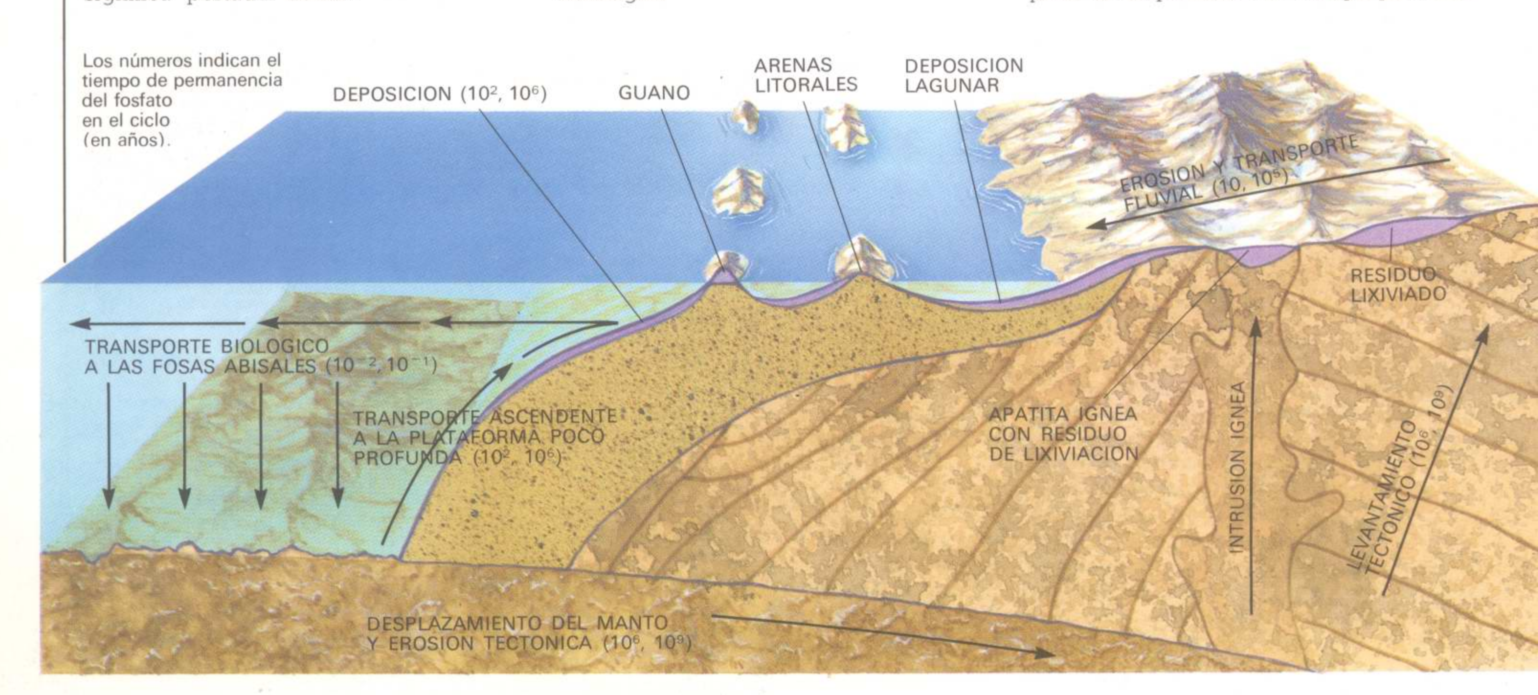
Aunque Brandt quedó desilusionado, sacó provecho de su descubrimiento para el resto de su vida, y se esforzó en mantener en secreto el humilde origen del elemento descubierto. La característica más llamativa del nuevo mineral era su capacidad de resplandecer en la oscuridad, y Brandt lo mostraba a sus asustados visitantes en ambientes oscuros para aumentar el efecto. Brandt denominó a la nueva sustancia *fósforo*, del término griego que significa "portador de luz."

Tres siglos más tarde, el elemento fósforo continúa siendo conocido por su característica de emitir radiaciones luminosas. Los compuestos del fósforo se emplean en la producción de cerillas y en los lanzallamas.

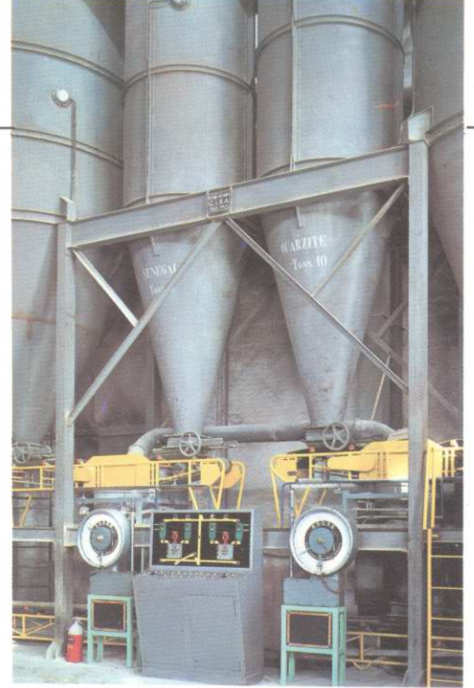
La capacidad del fósforo de resplandecer y encenderse en contacto con el aire, ardiendo con fuerte desarrollo de luz y de calor, es, no obstante, una de sus características menos significativas. El fósforo es, sobre todo, un elemento nutriente, esencial para la vida de las plantas y de los animales. Es vital para las células de los tejidos, para el cerebro humano, para los nervios, los músculos y los huesos. El fósforo hace también posible el fenómeno del calambre que causan las anguilas eléctricas y la luminosidad característica de las luciérnagas.

Fósforos blanco, rojo y negro En estado puro, el fósforo puede existir en diversas formas o estados alotrópicos, de los cuales los más importantes son el fósforo blanco, el rojo y el negro. El *fósforo blanco* (alguna vez llamado *amarillo* por la superficie amarilla que se forma cuando se expone al sol) es una sustancia suave y cerosa. A diferencia del radio, cuyas radiaciones luminosas son debidas a procesos nucleares, las radiaciones luminosas emitidas por el fósforo son debidas a una lenta reacción química del elemento con el oxígeno del aire, quemándose muy despacio.

Se inflama espontáneamente en el aire cuando alcanza la temperatura de 35 °C, muy poco por debajo de la del cuerpo humano. Nunca debe tocarse con los dedos, pues la temperatura del cuerpo provoca-



Los números indican el tiempo de permanencia del fosfato en el ciclo (en años).



ría su ignición. Para evitar la combustión espontánea, el fósforo blanco se guarda en tarros con agua.

El fósforo blanco es también venenoso. En el siglo XIX, los obreros de las fábricas de cerillas sufrían con frecuencia una enfermedad llamada *gangrena de fósforo*. Consistía en un terrible proceso de degradación del hueso maxilar, debido a la inhalación de humos por parte de los obreros en el momento en que aspiraban el fósforo fundido con tubitos de vidrio para adherirlo después a los bastoncitos de madera.

Cuando el fósforo blanco entra en un recipiente sin oxígeno y se calienta a unos 250 °C, se transforma en un polvo rosa llamado *fósforo rojo*. Es una variedad de fósforo "segura", pues no es venenosa y no se enciende espontáneamente. Fue presentado en 1851 en la Gran Exposición de Londres por Arthur Albright. Su descubrimiento constituyó un gran paso hacia una utilización más segura del fósforo en aplicaciones industriales. Las cerillas actualmente se producen con fósforo rojo.



El *fósforo negro* se obtiene calentando el fósforo blanco a una temperatura de unos 210 °C y a una presión 15.000 veces superior a la presión atmosférica al nivel del mar. Es una sustancia pesada y negra que se asemeja al grafito. A diferencia de las otras dos formas, el fósforo negro posee una cierta capacidad de conducir la corriente eléctrica.

Compuestos del fósforo El fósforo se combina con muchos otros elementos. Una de las más importantes familias de compuestos del fósforo comprende aquéllos en los cuales está en combinación con el calcio. El fosfato de calcio es el constituyente más importante de los huesos. Los compuestos a base de fósforo y calcio se emplean en levaduras, harinas autofermentantes, dentífricos y medicamentos.

Los compuestos del fósforo que contienen sodio se usan en la producción de detergentes, sustancias para ablandar las aguas, colorantes, blanqueadores y productos farmacéuticos. Los compuestos del fósforo que contienen potasio se emplean en la producción de jabones, goma sintética y penicilina.

Uno de los usos más importantes del fósforo es el de la producción de fertilizantes, donde se encuentra en combinación con el amoniaco. El nitrógeno, el potasio y el fósforo son los tres constituyentes más importantes de los modernos fertilizantes.

La producción del fósforo El fósforo es un elemento extremadamente activo y se combina con una gran variedad de sustancias. Salvo en los meteoritos, no se encuentra nunca libre en la Naturaleza. Se halla principalmente en forma de fosfato de calcio.

Cerca de cien años después de que Brandt obtuviera el fósforo de la orina, se descubrió que este elemento se podía obtener también de los huesos. Más tarde, en 1840, el químico agrícola alemán Justus von Liebig descubrió un método para tratar los huesos con un ácido y obtener fosfatos con el objeto de ser utilizados como fertilizantes. Cuando Liebig, algún año después, dirige su atención a las fuentes minerales del fósforo, halla un procedimiento para tratar la roca fosfática. La roca fosfática está constituida de restos fosilizados de animales marinos que murieron hace 10 ó 15 millones de años. El depósito más importante de rocas fosfáticas del mundo es el llamado Valle de los Huesos, en Florida (EE UU).

Véase **Detergentes; Farmacéuticos, productos; Fertilizantes; Hueso**

Arriba y en el centro, fases de la producción del fósforo amarillo y del sesquisulfuro de fósforo. Abajo, fósforo amarillo.

En la página anterior, abajo, el ciclo geoquímico del fosfato. El fosfato se desplaza lentamente de la tierra al mar y a la inversa. El fosfato liberado sobre la tierra firme es transportado hacia los océanos. A lo largo del recorrido es utilizado por plantas y animales y así también sucede una vez llegado al mar. Los animales y los vegetales, una vez muertos, caen sobre el fondo marino, donde se produce la descomposición de las sustancias orgánicas, formándose con el tiempo sedimentos fosfáticos. Corrientes ascensionales le hacen emerger a la plataforma continental y de aquí otra vez a tierra.



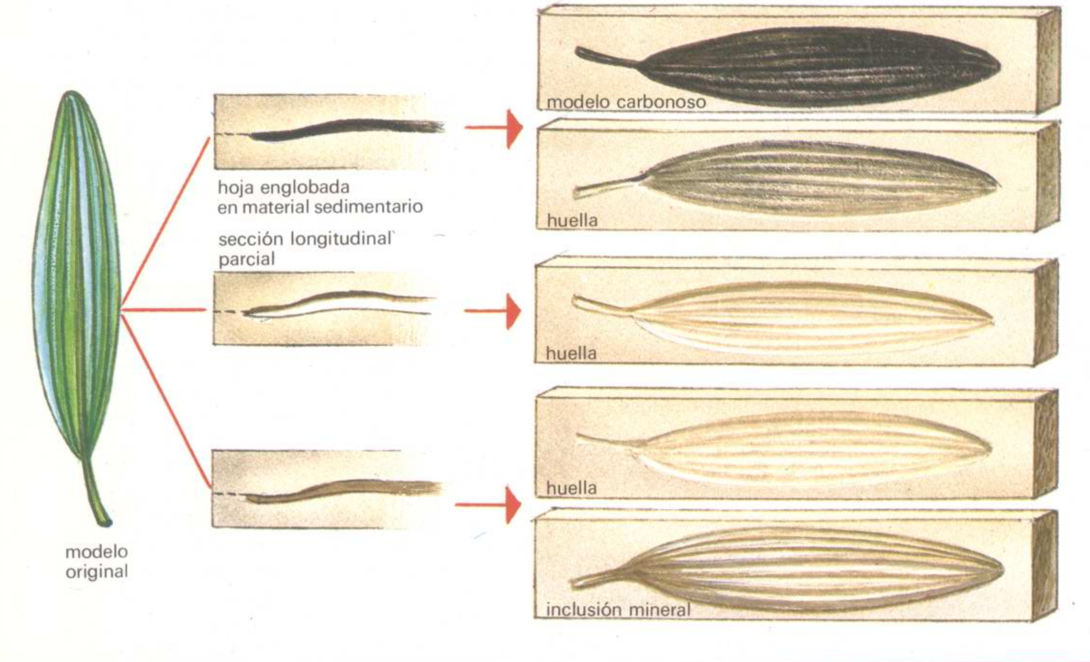
Fósil y fosilización

Observando las rocas sedimentarias, es frecuente encontrar en algunas de ellas restos de organismos animales o vegetales que habitaron en la Tierra hace millones de años. Estos restos son testimonio de la variedad biótica que existió en nuestro planeta, y se denominan *fósiles*.

Formación de los fósiles Los fósiles son los restos de vegetales o animales que vivieron en épocas muy lejanas y que se han conservado, por fenómenos naturales, a través de las Eras geológicas. Los fósiles, en sentido estricto, se encuentran asociados a las rocas sedimentarias. Excepcionalmente se encuentran animales completos cuando quedaron incluidos en materiales asépticos, como el asfalto o el ámbar, pero éstos no han experimentado el proceso de fosilización.

En general, se conservan sólo las partes duras de los organismos, como las estructuras esqueléticas, mientras que las partes blandas se descomponen a lo largo del tiempo (aunque existen casos excepcionales de conservación). El proceso de fosilización comienza con el enterramiento de un organismo después de su muerte en un sedimento, que actúa como material protector y evita una rápida oxidación y degradación bacterianas, procesos que tendrían lugar si el organismo muerto permaneciera expuesto a la acción ambiental.

Gracias a los estudios de Paleobotánica ha sido posible reconstruir la vida vegetal del pasado. A la izquierda, una hoja de chopo, muy similar a las actuales: la presencia de residuos carbonosos le confiere la coloración típica que las hojas tienen en otoño. Abajo, hojas de *Benetitales* englobadas en sedimentos del Triásico. En la página siguiente, arriba, un *Sporomodus vulgaris*.

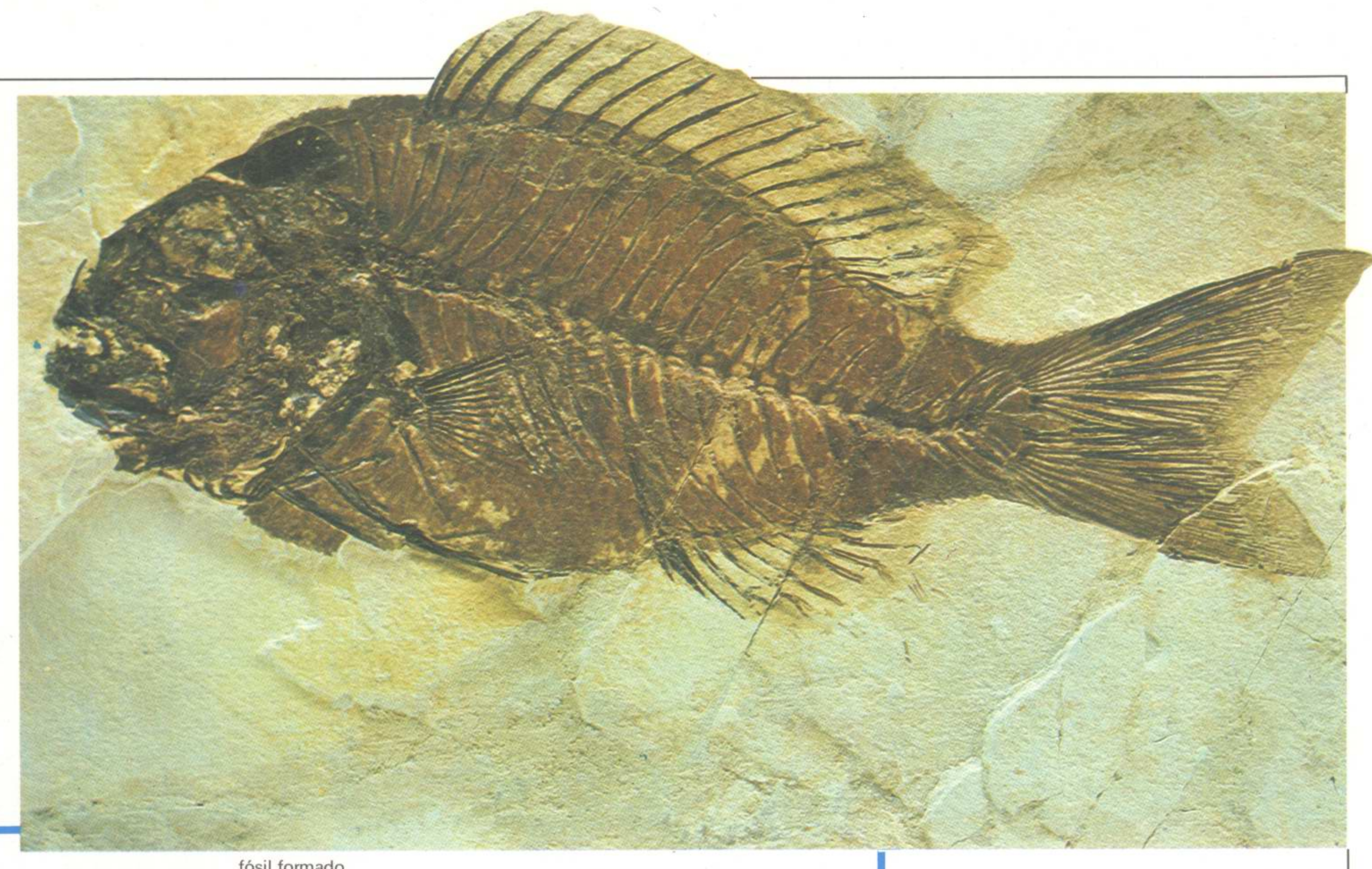


Una hoja caída en un río y enterrada por sedimentos puede experimentar formas distintas de fosilización, como ilustra el esquema de la izquierda. Arriba, la hoja que ha experimentado una alteración en su estructura química como consecuencia de la pérdida de agua y se ha transformado en una masa carbonosa comprimida y aplastada (vista en sección longitudinal); en el centro, el material constituyente de la hoja ha desaparecido por oxidación; abajo, la huella se ha rellenado con material inclusivo, dando lugar a un molde.

En el transcurso de las Eras geológicas, mientras el sedimento lentamente se compacta y se transforma en roca sedimentaria, también los organismos en él incluidos experimentan transformaciones.

En determinadas condiciones, restos porosos de los organismos, como partes esqueléticas y estructuras leñosas, pueden fosilizar como consecuencia de la deposición de sales minerales en los poros; los tejidos se endurecen notablemente, y así se suelen conservar durante mucho tiempo; la sílice da lugar a una serie de soluciones que actúan como agentes de fosilización, y sustituyen molécula a molécula los componentes originales de la madera, lo cual da como resultado unos troncos petrificados en los que se conserva íntegramente la estructura de los tejidos. Este proceso toma el nombre de *silicificación*.

Las aguas carbónicas se filtran a través de los sedimentos y pueden disolver los restos esqueléticos fosilizados, dejando un espacio vacío que tiene la forma del organismo. Este espacio vacío constituye el molde natural. A menudo los científicos rellenan esos moldes con yeso para obtener una reproducción de la forma original. Es posible incluso que a veces esas reproducciones se formen naturalmente: para que ello suceda tiene que darse el hecho, nada infrecuente, de que en la cavidad se deposite un nuevo compuesto mineral.



fósil formado por material sustitutivo

material sustitutivo por diagénesis

fósil formado por material original y material sustitutivo

descomposición y disolución

sustitución lenta de las moléculas orgánicas por elementos minerales

parte de las sustancias descompuestas se conservan

el ejemplar es recubierto por sedimentos después de la muerte

material diagenético de relleno

material sedimentario envolvente

organismo original

el ejemplar es recubierto por sedimentos después de la muerte

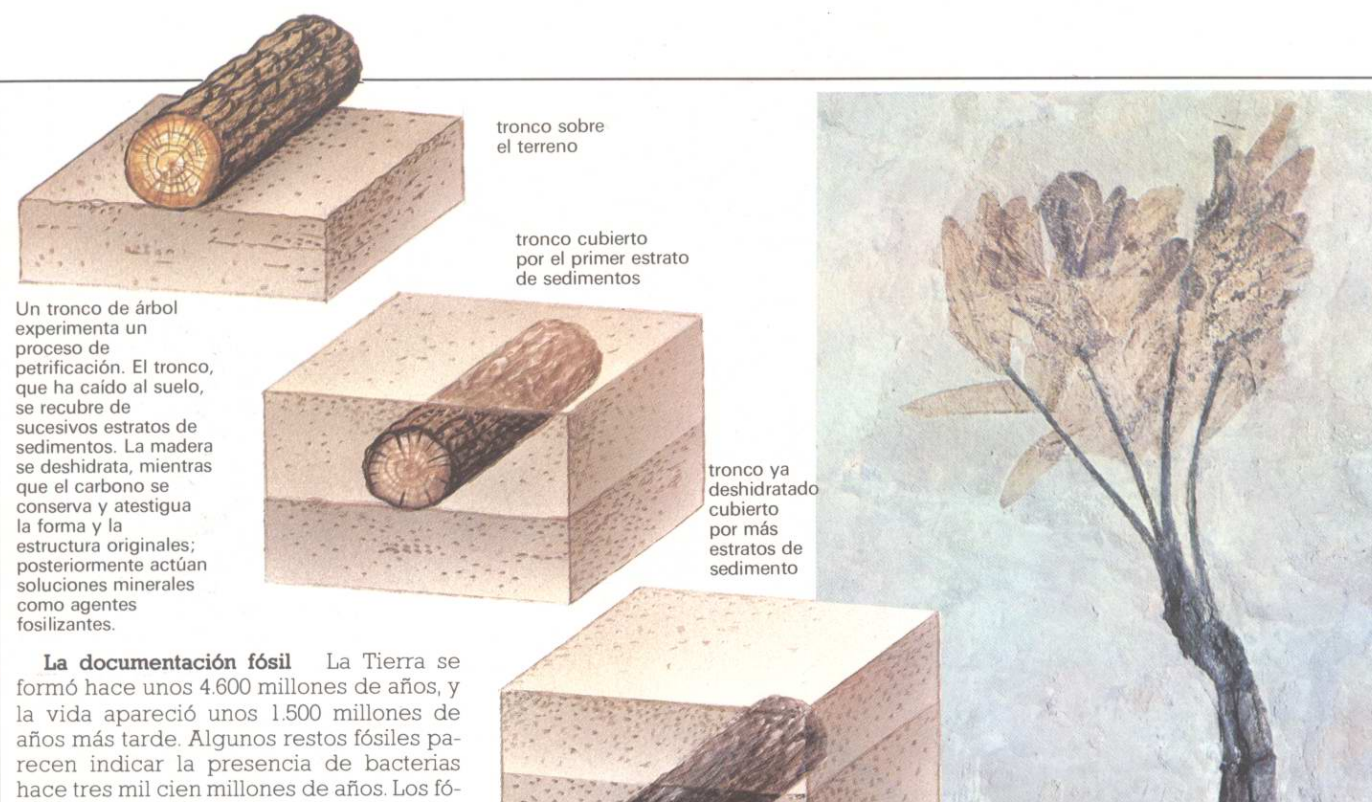
descomposición y disolución dentro de los sedimentos

modelo

El esquema ilustra las modalidades de fosilización de un organismo animal. El organismo animal, en este caso un pez, es englobado por material sedimentario. Normalmente las partes blandas se descomponen y las esqueléticas pueden ser disueltas, pero a veces los restos esqueléticos pueden fosilizar cuando la materia mineral sustituye a la materia orgánica. En otros casos, el fósil formado es disuelto por aguas carbónicas, dejando un hueco, o molde, que puede ser rellenado por materia mineral y conserva los detalles de la superficie externa del fósil. El molde puede rellenarse en el laboratorio, obteniéndose así un modelo.

No sólo se consideran como fósiles los restos de los organismos; también pueden fosilizar huellas de sus actividades orgánicas. Las huellas de locomoción, cavidades de habitación, etc. pueden ser muy útiles para la reconstrucción de una imágen de la vida sobre la Tierra en una época lejana. También son importantes los excrementos animales fósiles. Estos *coprolitos*, como normalmente se les llama, pueden proporcionarnos información acerca de las costumbres alimentarias de los animales prehistóricos.

Paleontología El estudio científico de los fósiles y de la fosilización se denomina *Paleontología*. Este es un campo relativamente nuevo. Su estudio se remonta al comienzo del siglo XIX, cuando se comprendió que los fósiles eran restos de seres vivientes de épocas muy lejanas y por lo tanto constituían un testimonio del pasado. Los griegos ya conocían los fósiles y también sabían lo que en realidad eran, aunque nunca se enfrentaron a un estudio científico sobre ellos. En la Edad Media se pensaba que los fósiles eran o *vis plastica* (restos sin concluir de intentos o errores en la Creación) o *ludus naturae* (juegos de la Naturaleza). Aunque Leonardo da Vinci haya sido uno de los primeros que han comprendido la verdadera naturaleza de los fósiles, su estudio profundo, detallado y sistemático como testimonio del pasado no empezó hasta los primeros años del siglo pasado. Después, con las teorías evolucionistas, los fósiles cobraron una importancia capital. Desde entonces hasta nuestros días, son muy numerosas las reconstrucciones y los hallazgos que se han hecho.



Un tronco de árbol experimenta un proceso de petrificación. El tronco, que ha caído al suelo, se recubre de sucesivos estratos de sedimentos. La madera se deshidrata, mientras que el carbono se conserva y atestigua la forma y la estructura originales; posteriormente actúan soluciones minerales como agentes fosilizantes.

Arriba, un ejemplar de fósil, una planta que vivió hace casi 70 millones de años. Es posible notar, en transparencia, las características de las hojas cubiertas por las superpuestas. Abajo, los restos de un bosque petrificado que la marea baja deja al descubierto periódicamente en la playa de St. Malò (Francia).

La documentación fósil La Tierra se formó hace unos 4.600 millones de años, y la vida apareció unos 1.500 millones de años más tarde. Algunos restos fósiles parecen indicar la presencia de bacterias hace tres mil cien millones de años. Los fósiles constituyen una documentación sobre la evolución de la vida en nuestro planeta, desde sus orígenes hasta nuestros días. De todas formas, esta documentación no es, de ninguna manera, completa. Puesto que la mayor parte del material orgánico es degradado por acción bacteriana y atmosférica, pasando a formar parte del ciclo de los elementos, el número de fósiles sólo representa una mínima parte del número total de los organismos que vivieron sobre la Tierra, ya que los requisitos necesarios para la fosilización sólo se dan excepcionalmente. En primer lugar, como ya se señaló, el proceso de fosilización requiere la incorporación del resto orgánico a materiales que se acumulan en un área de sedimentación, como puede ser el fondo marino o una zona pantanosa. Sin dicha incorporación, el organismo muerto experimenta una rápida degradación. Este primer requisito implica que las especies que vivían lejos de un área de sedimentación ni siquiera constan en el resgistro fósil. Por otra parte, al fosilizar casi exclusivamente las partes esqueléticas, apenas se sabe nada de los organismos que sólo poseían partes blandas. A esto hay que añadir que los procesos metamórficos destruyen la mayor parte de los fósiles ya formados.



Los fósiles más comunes Aproximadamente el 80-90% de todas las especies fósiles descritas son Artrópodos. A causa de su gran capacidad para adaptarse a casi cualquier tipo de situación ambiental, y gracias a la presencia de un exoesqueleto duro que fosiliza con relativa facilidad, los Artrópodos ya aparecen en forma fósil a partir del período Cámbrico. Por este motivo han sido muy útiles a los paleontólogos.

Un ejemplo de conservación se refiere a los insectos fósiles que se han encontra-



A menudo se encuentran en las rocas sedimentarias algunos indicios o huellas que permiten reconstruir la actividad de antiguos organismos, por ejemplo la pista dejada por su movimiento, los refugios por ellos excavados, las impresiones de sus patas. Arriba, un límulo fosilizado en la roca, en la que son evidentes sus huellas, reconstruidas en el dibujo adyacente. A la derecha, ejemplo de organismos considerados como *fósiles guía*. En el Cámbrico ya estaban presentes formas de vida bien organizada, que con la evolución se han diversificado cada vez más, ocupando extensas áreas geográficas. En el dibujo, ejemplares de trilobites, *Olenellus, Olenus,* del Cámbrico. Abajo, foraminíferos del Paleoceno, *Operculina,* y del Eoceno medio-superior, *Heterostegina,* fósiles guía que caracterizan con su presencia estos períodos.

do en el ámbar. Para que esto haya podido suceder, el insecto tuvo que quedar aprisionado hace millones de años en una pegajosa resina, que después lo envolvió y lo ha preservado de la biodegradación. En el curso de millones de años, la resina de pino se ha endurecido y se ha transformado en ámbar. Los restos fósiles de los insectos también presentan otros aspectos interesantes. Efectivamente, se han encontrado fósiles de insectos gigantes con una apertura de alas que alcanzaba los 70 centímetros.

Hallazgos notables Los reptiles fósiles son probablemente los más populares, sobre todo a causa de sus dimensiones. Los huesos fósiles de dinosaurio atestiguan que hace centenares de millones de años vivían criaturas enormes, algunas de las cuales superaban los 21 metros de longitud. Además de los huesos, las huellas fósiles, el estudio de los reptiles actuales y el hallazgo de pieles de dinosaurio momificadas han permitido a los científicos hacerse una idea aproximada acerca del modo de vida de los dinosaurios y de qué aspecto tenían.

En La Brea (California, EE UU), depósitos asfálticos situados en antiguos pozos de alquitrán han conservado gran número de esqueletos de mamíferos y de pájaros prehistóricos. Como ya se señaló, y a pesar de que normalmente sólo se conservan las partes duras de los animales, ha habido algún ejemplo sorprendente de conservación de cuerpos completos, partes blandas incluidas.

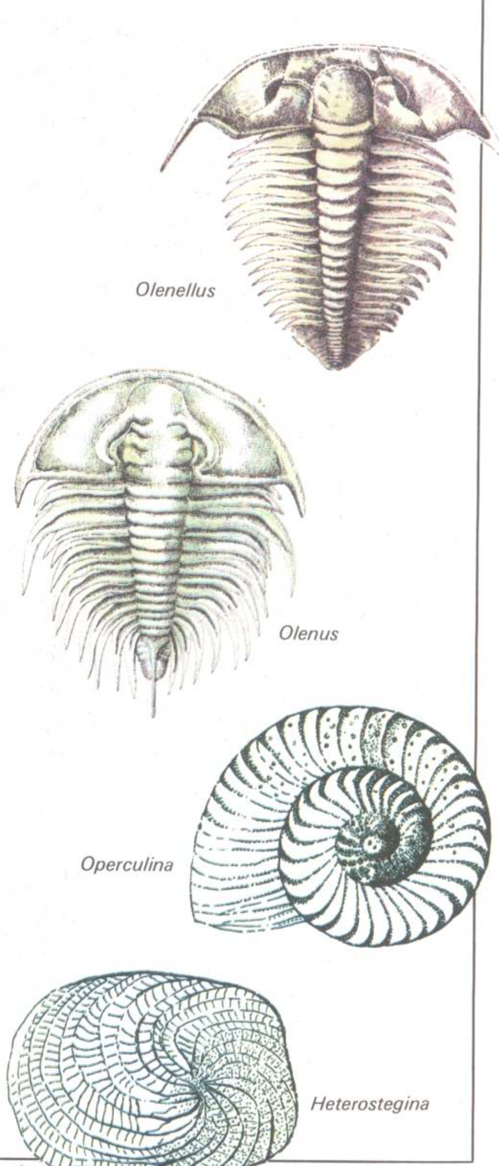
En Siberia se han descubierto casi 50 ejemplares de mamuts, así como un rinoceronte, conservados en el hielo con la piel y la carne intactas.

En Polonia, en minas de asfalto, se han encontrado algunos ejemplares de rinoceronte lanudo, con parte de la piel y de la carne aún intactas.

Vida vegetal La ciencia que estudia las plantas fósiles se denomina *Paleobotánica*. Igual que los animales, también las plantas pueden quedar petrificadas o sus huellas se pueden conservar bajo forma de moldes naturales. En algunos casos puede conservarse una especie de figura formada por los residuos del carbono de la planta. Normalmente estas figuras se encuentran en formaciones esquistosas, en las que la planta es comprimida y todos sus elementos, excepto el carbono, se disuelven por degradación. Este tipo de fosilización es muy rara en los animales.

Utilidad de los fósiles A través del testimonio de los fósiles se pueden estudiar los cambios en la forma de los organismos con el transcurso del tiempo. Por ello los fósiles se pueden utilizar como indicadores en el estudio de la historia terrestre. Desde fechas recientes los fósiles se utilizan también para la búsqueda de combustibles fósiles, y han permitido determinar la posición de yacimientos de carbón y depósitos de petróleo y gas. Así los fósiles, si bien son principalmente una llave para la interpretación del pasado remoto, han resultado útiles también para las necesidades presentes.

Véase **Archaeopteryx; Brontosaurio; Dinosaurio; Geología; Paleontología**



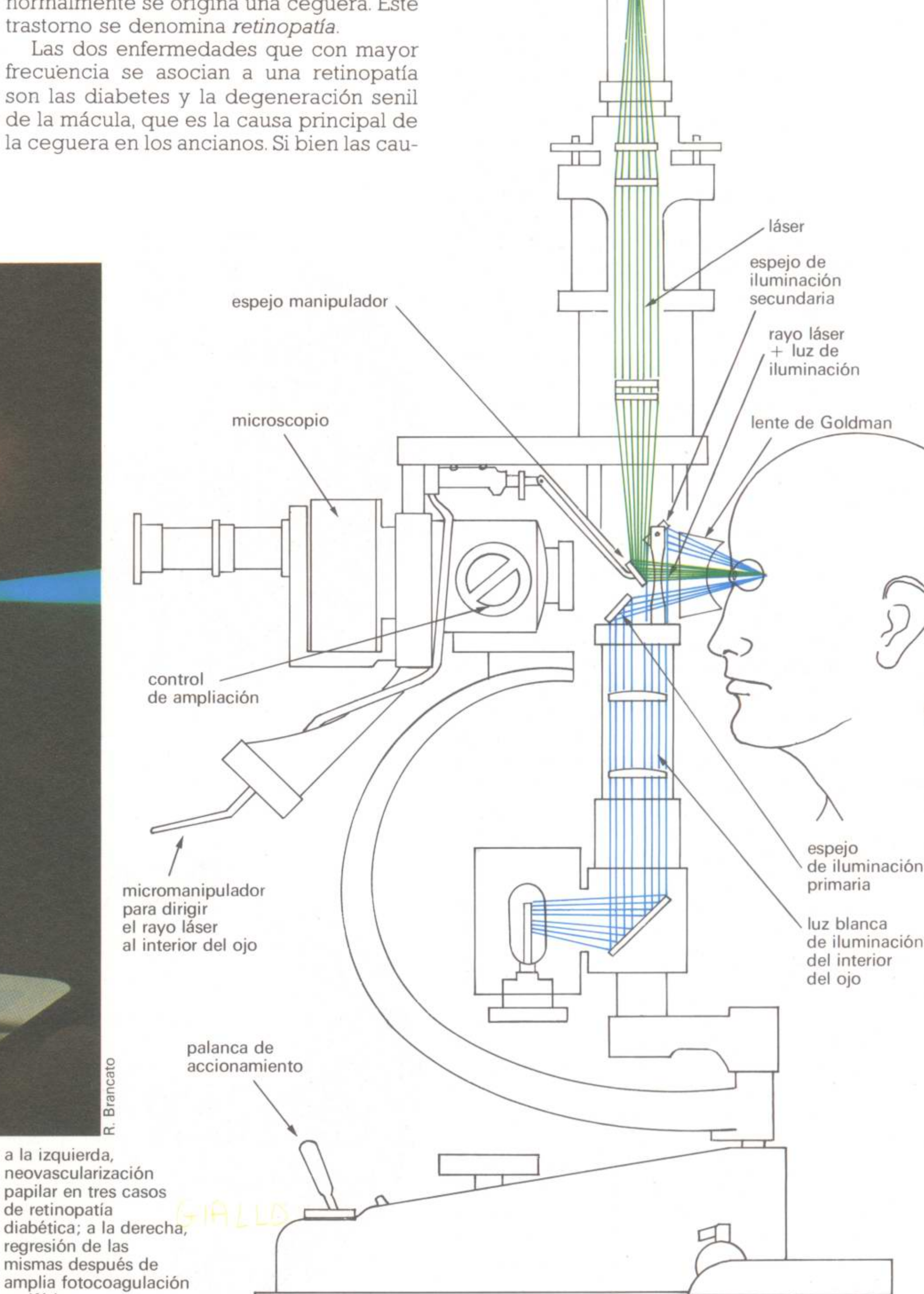
Fotocoagulación

El láser, nombre derivado de las siglas de *light amplification by stimulated emission of radiation* (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiaciones), fue demostrado por vez primera por el físico T. H. Maiman en 1960. En el transcurso de un breve período de tiempo, esta forma de emisión de rayos luminosos extremadamente potente y precisa ha alcanzado una gran cantidad de aplicaciones. Los artistas y directores cinematográficos han quedado fascinados por los colores y por las formas exóticas tridimensionales de la fotografía con láser, denominada *holografía*. La investigación militar con el láser está desarrollando armamento de tipo parecido al que aparece en las películas de ciencia-ficción. En la cirugía, el láser se utiliza para remediar, de un modo sencillo y relativamente seguro, situaciones que en otro tiempo eran consideradas como inoperables. Una de las utilizaciones más frecuentes del láser en cirugía está constituida por el tratamiento de algunas enfermedades de los ojos por medio de la *fotocoagulación*.

Las retinopatías La fotocoagulación es un procedimiento terapéutico que se utiliza para detener el curso de las enfermedades que afectan a la retina, la capa de células nerviosas que recubre el fondo del ojo y que hace posible la percepción de la luz. En el centro de la retina existe una zona, de una longitud aproximada de 0,55 centímetros, denominada *mácula*, responsable de la visión central precisa y detallada que es necesaria para algunas actividades como la lectura. Si los vasos sanguíneos que aportan la nutrición a la retina sufren alteraciones importantes, normalmente se origina una ceguera. Este trastorno se denomina *retinopatía*.

Las dos enfermedades que con mayor frecuencia se asocian a una retinopatía son las diabetes y la degeneración senil de la mácula, que es la causa principal de la ceguera en los ancianos. Si bien las cau-

R. Brancato



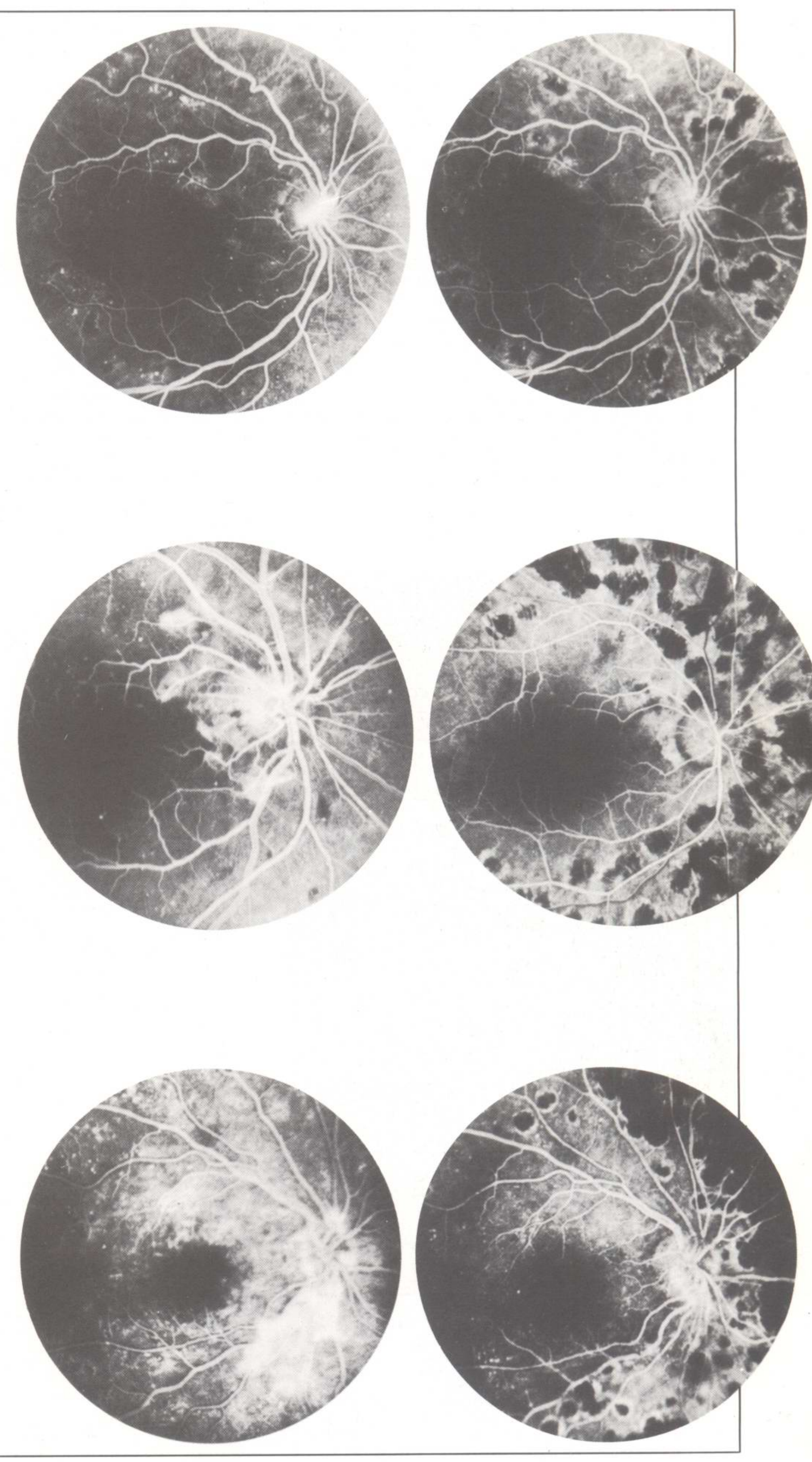
La fotocoagulación es particularmente útil en el tratamiento de las retinopatías caracterizadas por un proceso de neovascularización: actúa cauterizando las zonas de la retina afectadas e impidiendo el desarrollo de nuevos vasos. Sobre estas líneas y a la derecha, foto y esquema del aparato utilizado para fotocoagulación. En la página siguiente: a la izquierda, neovascularización papilar en tres casos de retinopatía diabética; a la derecha, regresión de las mismas después de amplia fotocoagulación periférica.

sas de la retinopatía son muy diversas, el efecto que tienen sobre la retina es el mismo. En la actualidad, sin embargo, si tales alteraciones se diagnostican en sus primeras fases, la ceguera, que una vez que se desarrolla es ya irreversible, puede ser prevenida mediante el tratamiento con la fotocoagulación, al menos durante períodos de tiempo superiores a los de su evolución natural.

La retinopatía se produce en dos etapas. En la primera etapa, la degeneración tiene lugar en los vasos sanguíneos de la retina, en los que se produce hinchazón y ruptura (hemorragia retiniana). Durante esta etapa, puede darse el caso de que no exista ninguna pérdida de visión si el daño no es demasiado grave. Si, por el contrario, la degeneración de los vasos sanguíneos continúa, se formarán nuevos vasos pequeños y débiles y proliferarán hacia la mácula a través de un proceso llamado *neovascularización*, que constituye la segunda etapa de la enfermedad. Estos nuevos vasos formados son muy susceptibles a variaciones de la presión debidas a esfuerzos físicos, y se romperán con facilidad originando una hemorragia. La sangre u otros fluidos que entren en contacto con la mácula destruirán las células del ojo necesarias para la visión central, provocando con ello una ceguera casi total. También los tejidos cicatrizados de los vasos lesionados pueden presionar sobre la retina y hacerla desprenderse, causando por lo tanto una ceguera total.

Tratamiento La fotocoagulación no puede curar estas enfermedades, pero puede inhibir la neovascularización cauterizando los vasos sanguíneos con un láser en los puntos en los que es más probable que se desarrollen nuevos vasos débiles. Para establecer la necesidad de una fotocoagulación, se utiliza el denominado *angiograma de fluoresceína*, que consiste en una fotografía del fondo del ojo de un paciente en el que la sangre transporta una sustancia fluorescente previamente inyectada. Durante el tratamiento con fotocoagulación, se coloca sobre el ojo una lente de contacto especial, llamada *goniolente*. El paciente está consciente durante el proceso, que es indoloro y dura de 20 a 45 minutos. Un voluminoso dispositivo parecido a unos gemelos, que recuerda al instrumento utilizado habitualmente en las consultas de los oculistas, se coloca en los ojos del paciente. Se administran al ojo entre 300 y 1.520 breves impulsos aproximadamente, constituidos por un láser de luz roja rubí o verde. Estos impulsos luminosos hacen retroceder a los vasos sanguíneos débiles, de manera que la sangre circule únicamente por los vasos más fuertes y resistentes a ulteriores hemorragias. El número y la duración de estos tratamientos variará según la extensión de las lesiones retinianas y la evolución de cada paciente. Habitualmente son suficientes de una a cuatro sesiones.

Véase **Láser; Ojo; Visión**



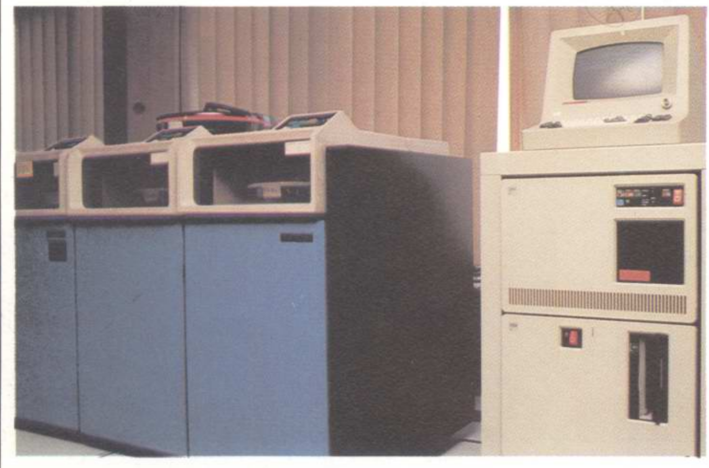
Fotocomposición

El desarrollo de la técnica de la fotocomposición, a remolque de los ordenadores, ha permitido que el proceso de composición de los textos sea más fácil, rápido y económico que en el pasado.

Aunque se debe atribuir al ingeniero húngaro Eugene Porzolt el proyecto, en 1894, de la primera máquina para fotocomposición, deberá esperarse a los años sesenta de nuestro siglo para que esta técnica se convierta en algo de uso común. Los modelos precedentes de máquinas para impresión (excepto los de *offset*, cuyo proceso es distinto) empleaban caracteres tipográficos en relieve, de plomo o de madera. Los caracteres eran impregnados en tinta, de forma que las hojas de papel quedaban impresas por presión sobre dichos caracteres. Esta técnica, empleada desde los tiempos de Gutemberg, en lo que se refiere a tipos móviles, fue superada por Porzolt, que pasó a emplear imágenes fotográficas de los caracteres. Con esto se transforma radicalmente el mundo de la composición, que había pasado sucesivamente de los tipos móviles (que un operario colocaba uno tras otro hasta formar una página, y así hasta componer un libro), a las máquinas llamadas linotipias, que formaban un bloque de plomo con todos los caracteres que componían una línea.



Los modernos sistemas de fotocomposición incluyen la utilización de terminales, tanto para el tecleado de los textos como para su corrección, revisión y montaje gráfico. Junto a estas líneas, terminales durante la fase de introducción de textos, conectados con un ordenador al que son enviados para su grabación en cinta magnética. Desde el mismo o desde otros terminales los textos pueden ser "llamados" para su elaboración, corrección y para finalmente dar la orden de filmación.





La revolución se produce cuando se sustituyen esos caracteres corpóreos por sus imágenes fotográficas.

Las máquinas filmadoras Los métodos de fotocomposición más difundidos utilizan principalmente dos tipos de máquinas fotocomponedoras:

- máquinas electrónicas, con conjunto fotográfico de tipo mecánico-óptico;
- máquinas electrónicas de tipo digital, que utilizan tubos de rayos catódicos o rayos láser para la reproducción fotográfica del carácter.

Las primeras son máquinas de concepción más simple, más lentas y de menor coste; por el contrario, las segundas son de precio mucho más alto, aunque sus prestaciones son mucho más elevadas, resultando rentables cuando el índice de utilización es alto.

Generalmente, las fotocomponedoras, en particular las de tipo mecánico-óptico, son controladas mediante cinta de papel perforado según un esquema de códigos particular, producido en la primera fase del proceso mediante un teclado. Con dicho teclado perforador se copia el texto original operando de esta forma su transferencia o "registro" en la cinta. La cinta obtenida pasa después a la filmadora, de forma que cada línea perforada es decodificada, filmándose el carácter tipográfico correspondiente sobre una película continua. La cinta perforada contiene también una serie de órdenes en código, relativas al tipo de letra, tamaño o cuerpo, interlineado, longitud de las líneas, disposición de éstas (justificadas, en bandera, centradas), etcétera.

Los modelos más utilizados de fotocomponedoras del primer tipo disponen de discos intercambiables, generalmente de cristal, sobre los cuales se han representado en negativo —resultando así transparentes— los caracteres y grafismos varios (alfabeto, números, signos de puntuación, etc.) necesarios para la composición de un determinado texto. La cinta perforada es leída por un lector especial y los códigos relativos a cada carácter se traducen en impulsos que constituyen la instrucción para disparar un *flash* en el preciso instante en el que el carácter que se desea fotografiar se encuentra delante de la fuente luminosa. El brevísimo destello produce un haz luminoso que, atravesando la parte transparente del disco que corresponde al carácter, toma el contorno de dicho carácter y, tras ser aumentado o reducido por una lente, dependiendo del tamaño deseado en la impresión, impresionará el material fotográfico, película o papel, reproduciendo el carácter en el punto deseado. El posterior revelado del material fotográfico evidenciará la imagen del carácter fotografiado. Los demás caracteres serán reproducidos del mismo modo y será la propia máquina la que desviará automáticamente el rayo luminoso tantas veces como sea necesario para obtener en el material fotográfico la correcta alineación de los caracteres de la línea. Al finalizar cada línea, un dispositivo adecuado hace avanzar al material fotográfico, de forma que el texto se reproduce exactamente con la interlineación deseada.

En las máquinas fotocomponedoras del segundo tipo, muy utilizadas en los últimos años, incluso por empresas de pequeñas dimensiones, los distintos grupos de caracteres no son impresos en forma fotográfica sobre matrices físicas, como ocurre con los discos de cristal, sino que son almacenados en forma digital en discos magnéticos. En estos casos la representación fotográfica de cada carácter, tanto en lo que se refiere a la forma como a las dimensiones, es confiada a un dispositivo con un tubo de rayos catódicos que, tomando los datos relativos al carácter en

A la derecha, el panel de mando de una filmadora que puede operar, según su configuración, tanto en conexión directa con el ordenador del sistema como mediante alimentación a través de cinta perforada. Puede verse los portarrollos y, entre ellos, el dispositivo de lectura de la cinta. La última fase del proceso de fotocomposición está constituida por la realización de las películas definitivas para impresión de las distintas páginas. Más a la derecha puede verse la salida de la película de una página acabada. La primera filmación, así como las siguientes no definitivas, se suelen realizar en papel fotográfico, aunque pueden hacerse también en película, en tiras o en columnas de longitud variable en función del tamaño de los textos. Más abajo, a la derecha, puede verse la salida de un ejemplar "fotocompuesto", sobre papel fotográfico, de una procesadora en la que se introduce el material fotográfico para la fase de revelado que sigue a la impresión fotográfica producida por la fotocomponedora. El primer ejemplar de un texto y las diversas salidas que se obtienen tras las diversas fases de corrección constituyen las pruebas.







cuestión del disco magnético, reproduce su imagen en la forma deseada de modo parecido a lo que ocurre para la representación de datos o imágenes en la pantalla de un terminal de vídeo. La imagen luminosa producida de esta forma es posteriormente transferida mediante un sistema óptico al papel fotográfico o a la película, donde quedará definitivamente representada.

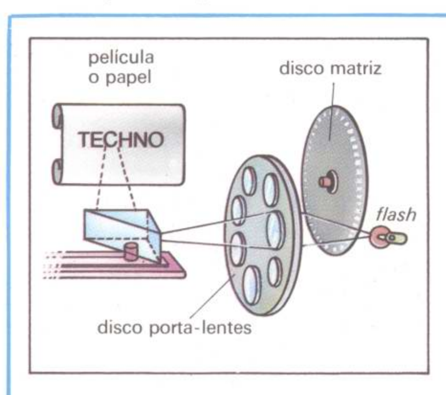
En algunos modelos, la técnica de generación de la "imagen" de cada carácter utiliza, en lugar del tubo de rayos catódicos, un dispositivo de escritura mediante rayo láser. Estas dos últimas tecnologías son, desde el punto de vista de los resultados, bastante parecidas y se caracterizan por la elevadísima velocidad de ejecución y por sus altas prestaciones: más de un millón de caracteres por hora.

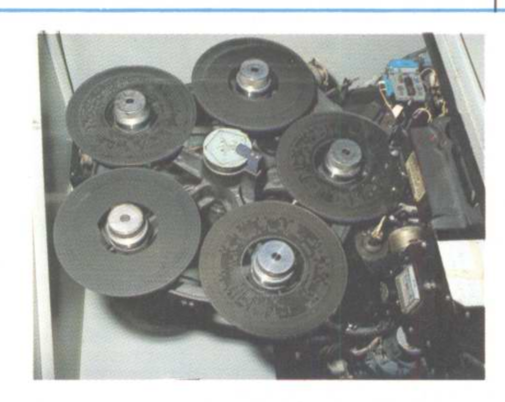
Estas fotocomponedoras disponen de miniordenadores capaces de gestionar, además de la fotografía y la generación electrónica de caracteres, la posible división silábica de final de línea (partición de palabras), la distancia entre líneas (interlineado), la distribución de espacios entre las palabras (interpalabrado), etc. pudiendo también deformar de manera uniforme los caracteres (estrechándolos, ensanchándolos).

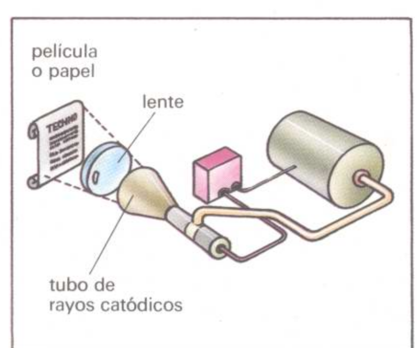
En los últimos tiempos, las fotocomponedoras se han ido valiendo cada vez más del mundo de los ordenadores, al ser éstos elementos insustituibles e inigualables para el tratamiento de la información. De esta forma se han creado verdaderos sistemas de elaboración de la palabra; así, por ejemplo, redes de terminales de vídeo con teclados conectados con el ordenador central tienen la "tarea" de dialogar con éste para introducir textos, leerlos en pantalla, modificarlos y corregirlos para, al fin, conducirlos —una vez elaborados definitivamente— a una filmadora, que también se halla conectada a la unidad central de proceso, que constituye el corazón del sistema.

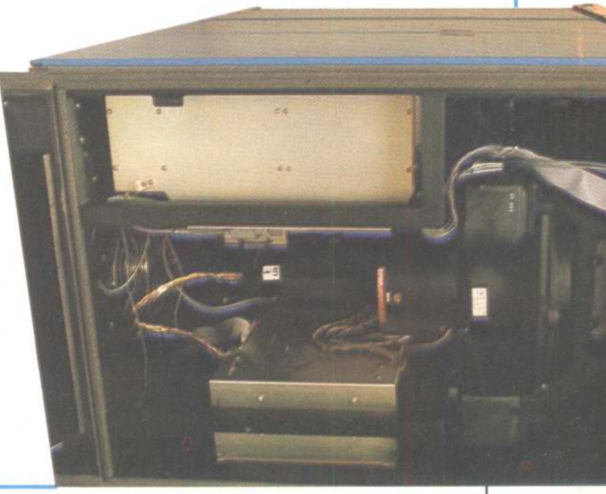
Los textos generados en fotocomposición pueden también tratarse en lo que se refiere a la distribución de los elementos de texto en las distintas páginas (compaginación). En todos los casos, los distintos elementos de la página (como títulos, artículos, recuadros, epígrafes, etc.) deben ser dispuestos, tradicionalmente de forma manual, según una configuración preestablecida. Los espacios para las ilustraciones se dejan en blanco. Las páginas compuestas de esta forma serán reproducidas fotográficamente para ser transformadas en películas.

Véase **Impresión; Impresión en offset**









Sobre estas líneas, esquemas que representan el principio de funcionamiento de los aparatos fotográficos de una filmadora de tipo mecánico óptico y de una de tubo de rayos catódicos. Junto a estas líneas, imágenes parciales de los distintos dispositivos.

Fotocopia y fotorreproducción

Según la Física moderna, cuando leemos las palabras escritas sobre una página, en realidad sólo percibimos los haces de corpúsculos luminosos reflejados por el papel y captados por nuestros ojos. Para reproducir un esquema visual sobre otra superficie, esta última debe estar hecha de forma que queden reflejados los corpúsculos luminosos de una forma similar.

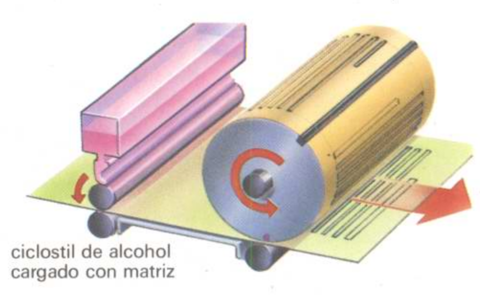
Los procesos de reproducción utilizan materiales sensibles a la luz, capaces de captar y estabilizar la figura que se refleja sobre los mismos. Otros sistemas de duplicación utilizan sin embargo tinta para estampar reproducciones de una copia original o bien de una placa.

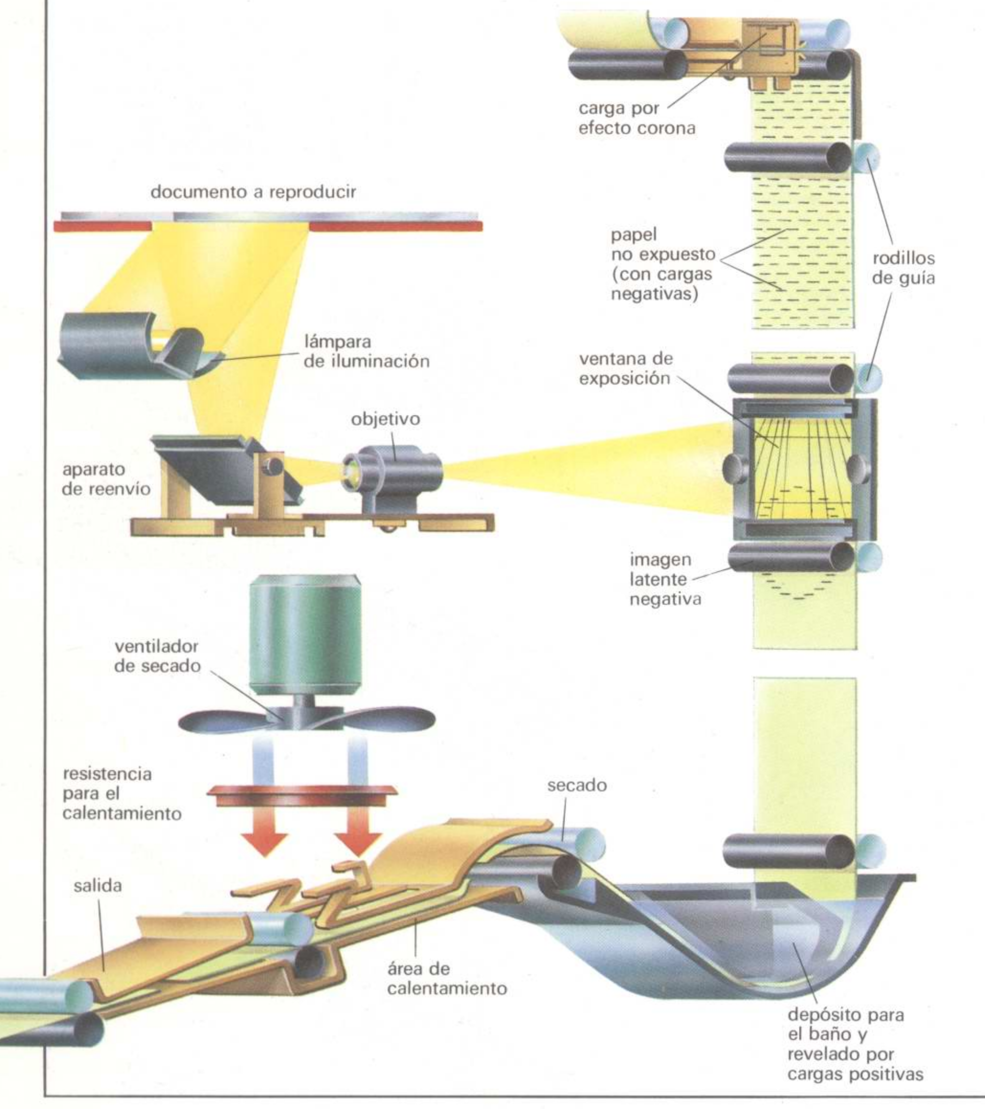
Los métodos principales para crear un registro permanente de luz bajo la forma de reproducción instantánea son dos. En la xerografía y demás procesos de duplicación electrostática, las figuras luminosas son reproducidas mediante una distribución de cargas eléctricas sobre una superficie cargada de electricidad estática. En los procesos fotoquímicos, se inician unas reacciones químicas mediante la interacción de fotones y electrones en el interior de compuestos sensibles a la luz.

Xerografía En la xerografía, una placa metálica o bien un cilindro (a menudo la placa está enrollada alrededor del cilindro) están recubiertos por un material, el selenio, por ejemplo, que puede mantener una carga de electricidad estática. Cuando comienza el proceso de reproducción, se proporciona una carga de energía positiva al selenio. A continuación se utiliza una lente y una fuente luminosa para enfocar la imagen sobre la placa. Como consecuencia de esto, en las zonas expuestas a la luz se pierde la carga positiva. Después se esparce sobre la superficie de la placa un polvo llamado *toner* (polvo orgánico mezclado con un "portador" constituido por bolitas de acero) con carga negativa que se adhiere a la imagen cargada de energía positiva. El papel cargado positivamente se pone en contacto con la placa. El polvo se adhiere al papel y la imagen se fija mediante calor, obteniéndose así una reproducción permanente.

Procesos fotoquímicos La fotorreproducción por contacto se utiliza para obtener copias cianográficas y otros tipos de reproducciones. Este procedimiento, utilizado desde mediados de 1800, consiste en colocar el original en contacto con papel negativo y exponerlo a la luz, a la cual es sensible. Seguidamente, el papel negativo se une con el papel positivo, y ambos son introducidos en una máquina de reproducción por contacto. Luego pasan por un revelador de vapor de amoniaco o agua que transfiere la imagen del negativo al papel positivo.







En el esquema de la izquierda vemos una máquina de duplicación con papel tratado y revelado para grandes producciones. El papel procede de un gran rollo y es cortado por un cuchillo rotatorio. A partir de este momento hay que controlar el movimiento del papel, ya que las hojas pueden atravesarse y bloquear la máquina. La primera operación a la cual se somete su superficie consiste en una carga eléctrica uniforme proporcionada por una descarga oscura: es decir, una proyección de iones creada por puntas sometidas a alta tensión, de tal forma que no puedan producir chispas. La fase siguiente consiste en la exposición; la hoja que ha recibido una carga electrostática negativa es expuesta a la imagen de la hoja que hay que reproducir. En donde cae la luz, la carga es neutralizada. Sin embargo, en correspondencia con las zonas estampadas (y en negro) el papel queda cargado. Luego pasa por un baño en el cual las partículas de tinta negra con carga positiva se fijan en correspondencia con la carga negativa del papel. Una pareja de rodillos las fija. Arriba vemos un sistema a base de alcohol.

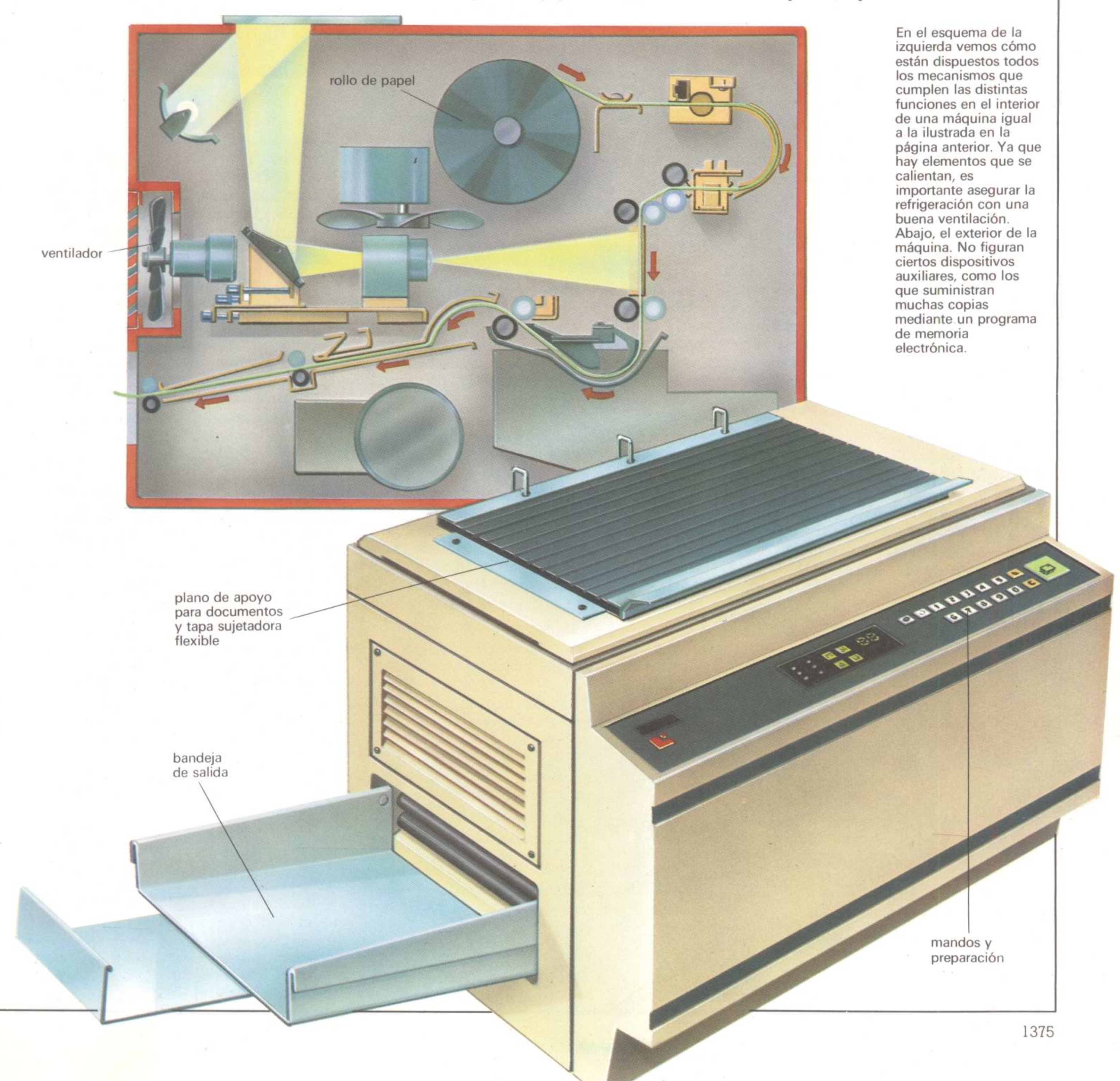
Fotorreproducción por proyección y por contacto La fotorreproducción por proyección consiste en obtener las copias

mediante la utilización de la máquina de reproducción fotoestática y una máquina fotográfica para duplicar. La primera proporciona un negativo del original sobre un papel sensible a la luz, que luego es revelado: obtenemos un duplicado similar al negativo. Este es proyectado sobre un papel positivo, que es revelado después para obtener el duplicado. La máquina fotográfica para duplicar permite variar las dimensiones del original.

Máquinas para la duplicación Antes de ser inventada la xerografía, las máquinas para la duplicación eran las más utilizadas para obtener copias idénticas de documentos. Existen tres sistemas principales de duplicación: *offset*, ciclostil y de alcohol.

- *Offset.* Consiste en colocar una imagen a base de grasa sobre una hoja original mediante escritura a máquina, a mano o dibujándola (para lo cual existen tintas y carboncillos especiales). Terminada dicha muestra, es fijada sobre un tambor. Mojando la muestra con agua y tinta, ésta se pega a la imagen de grasa y es transferida luego de la muestra a un tejido engomado. Cuando un rodillo presiona el papel contra el tejido engomado, la imagen se transfiere al papel en tinta.
- *Ciclostil.* Este procedimiento, conocido también como *mimeografía,* utiliza una hoja de ciclostil recubierta de cera o de plástico ligero. Las letras son impresas con máquina de escribir y las figuras son trazadas sobre la hoja de ciclostil, perforando su superficie y produciendo taladros a través de los cuales puede penetrar la tinta sobre el papel de duplicación. La misma hoja de ciclostil tiene un revestimiento resistente a la tinta y una hoja de sujeción porosa.
- *De alcohol.* El original está compuesto por dos partes; la inferior es similar a una hoja de papel carbón encerada, con el colorante en su parte superior. El colorante es transferido al resto de la hoja al escribir en su superficie. Esta hoja se fija luego a un tambor giratorio; entre tanto, las hojas que hay que imprimir se humedecen con un líquido a base de alcohol, que disuelve una capa fina del colorante del original y transfiere la imagen sobre el papel blanco.

Véase **Impresión; Impresión en ofsset**



En el esquema de la izquierda vemos cómo están dispuestos todos los mecanismos que cumplen las distintas funciones en el interior de una máquina igual a la ilustrada en la página anterior. Ya que hay elementos que se calientan, es importante asegurar la refrigeración con una buena ventilación. Abajo, el exterior de la máquina. No figuran ciertos dispositivos auxiliares, como los que suministran muchas copias mediante un programa de memoria electrónica.

Fotografía

Como la mayor parte de los inventos que han ejercido una importante influencia en algún área de la actividad humana, la fotografía surgió de la conjunción de una serie de circunstancias favorables. El interés por parte de algunos investigadores en la búsqueda de nuevas fórmulas para producir imágenes y el desarrollo de la Optica y de la Química fueron factores determinantes que condujeron a este nuevo procedimiento presentado por Jacques Mandé Daguerre en 1839 a la Academia de Ciencias de París, y mediante el cual podían perpetuarse, en una plancha recubierta de una emulsión química, imágenes tomadas de la realidad.

Los orígenes El instrumento que hizo posible la fotografía era conocido desde la Edad Media: la *cámara oscura*. Su principio se fundamenta en la propagación rectilínea de los rayos luminosos y consiste, en esencia, en una caja hueca ennegrecida interiormente, con un orificio en el centro de una de las caras. Los rayos de luz reflejados en los objetos del exterior atraviesan el orificio y forman una imagen invertida en la pared opuesta de la caja. La calidad de la imagen así obtenida puede mejorarse colocando una lente convexa en el lugar del orificio. Este sencillo aparato, ya descrito con minuciosidad en 1558 por el físico Giovanni Battista della Porta, fue ampliamente utilizado en Italia por los pintores paisajistas del Renacimiento, por la simplificación que permitía en los problemas de perspectiva. Sustituyendo la pared donde se forma la imagen por un vidrio esmerilado, aquélla podía ser observada desde la parte exterior, y los perfiles eran así fácilmente copiados sobre un papel.

Más de dos siglos después, el inglés Thomas Wegwood consideró por vez primera la posibilidad de impresionar la imagen obtenida en una cámara oscura utilizando la propiedad que poseían algunos compuestos de plata de ennegrecerse al recibir la luz. Los resultados obtenidos al colocar un papel bañado en nitrato de plata en el lugar del vidrio esmerilado de la cámara no fueron muy alentadores. La imagen, aunque resultaba reconocible, no podía conservarse durante mucho tiempo; la luz necesaria para observar la prueba era suficiente para ennegrecerla por completo.

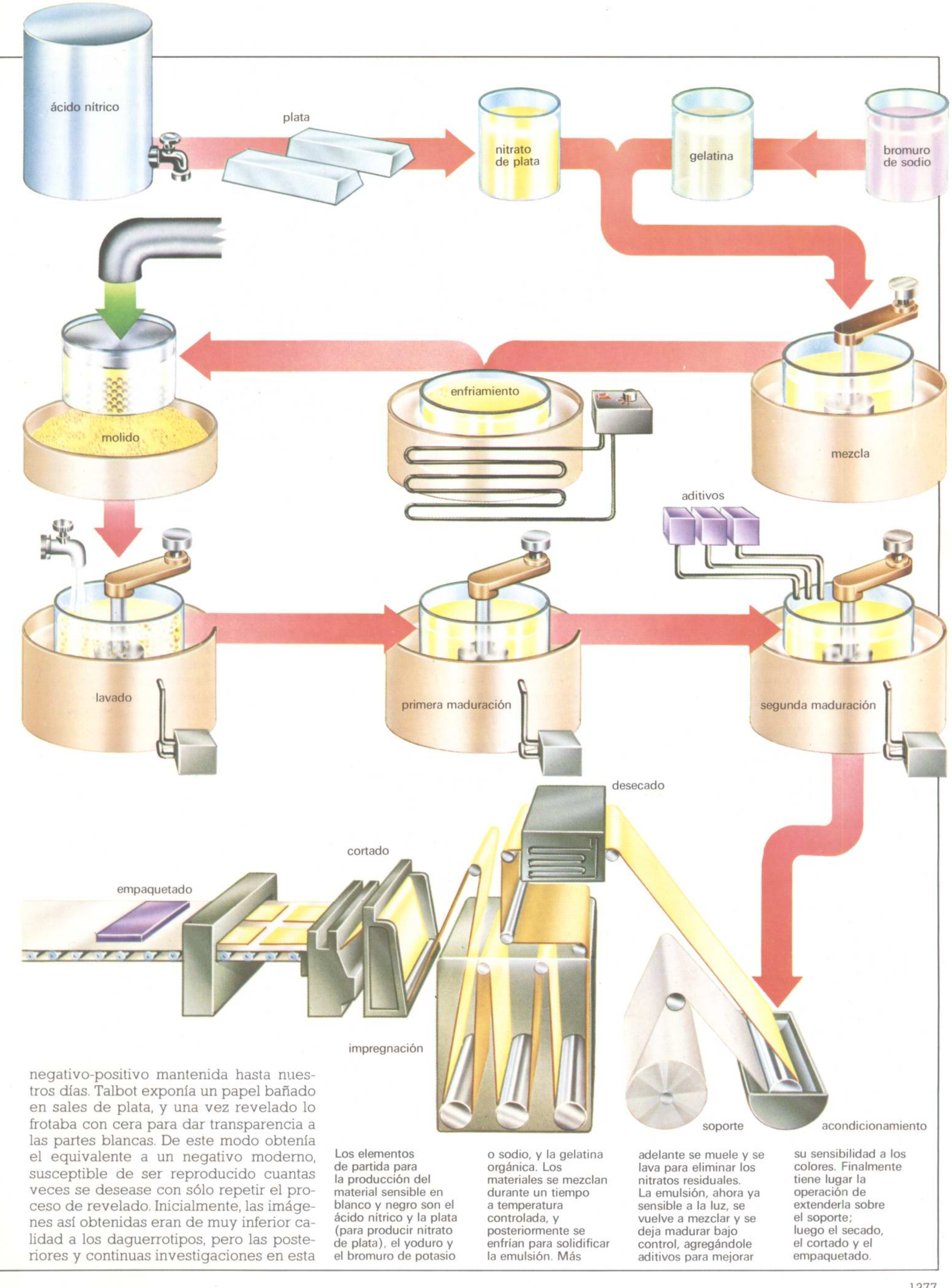


En el siglo XIX, los fotógrafos tenían que sensibilizar sus placas antes de la toma y revelarlas inmediatamente después. Abajo, equipo de productos suministrado para este fin al adquirir la cámara de daguerrotipos Voigtländer (modelo de 1841). Arriba, una foto de la catedral de Notre Dame de París, realizada por William Henry Fox Talbot mediante el proceso negativo-positivo inventado por él, que permitía reproducir varias copias a partir de una única toma. Este procedimiento acabó por imponerse al de Daguerre, contemporáneo suyo.

En 1822, el francés Joseph Nicephore Niepce, después de investigar con distintos productos, consiguió —con una exposición de ocho horas— la que puede considerarse la primera fotografía de la Historia. Su gran descubrimiento fue encontrar una fórmula para eliminar las sales de plata de las zonas que no habían recibido luz y así permitir que sus "heliografías" (como él las llamó) pudieran ser vistas a plena luz. Daguerre —socio de Niepce— introdujo, tras la muerte de éste, un nuevo procedimiento de revelado y algunas otras mejoras para reducir los largos tiempos de exposición requeridos, convirtiendo el proceso en practicable, y dándolo a conocer al mundo con el nombre de *daguerrotipo*.

La fotografía moderna El procedimiento fotográfico de Daguerre, que no suministraba más que una copia única de cada toma, y estaba limitado por su complejidad y su elevado precio, fue abandonado en pocos años y sustituido por el de un británico contemporáneo suyo, William Henry Fox Talbot, que introdujo la técnica





negativo-positivo mantenida hasta nuestros días. Talbot exponía un papel bañado en sales de plata, y una vez revelado lo frotaba con cera para dar transparencia a las partes blancas. De este modo obtenía el equivalente a un negativo moderno, susceptible de ser reproducido cuantas veces se desease con sólo repetir el proceso de revelado. Inicialmente, las imágenes así obtenidas eran de muy inferior calidad a los daguerrotipos, pero las posteriores y continuas investigaciones en esta

Los elementos de partida para la producción del material sensible en blanco y negro son el ácido nítrico y la plata (para producir nitrato de plata), el yoduro y el bromuro de potasio o sodio, y la gelatina orgánica. Los materiales se mezclan durante un tiempo a temperatura controlada, y posteriormente se enfrían para solidificar la emulsión. Más adelante se muele y se lava para eliminar los nitratos residuales. La emulsión, ahora ya sensible a la luz, se vuelve a mezclar y se deja madurar bajo control, agregándole aditivos para mejorar su sensibilidad a los colores. Finalmente tiene lugar la operación de extenderla sobre el soporte; luego el secado, el cortado y el empaquetado.

línea fueron mejorando progresivamente los resultados y facilitando la técnica.

La película en blanco y negro y su revelado Una película fotográfica está formada por una base de material plástico, generalmente triacetato de celulosa, a la que se le ha extendido una emulsión sensible, constituida por una delgada capa de gelatina con pequeños cristales de sales de plata en suspensión. En la cara opuesta a la emulsión, una finísima capa de gelatina antihalo de color oscuro evita que se produzcan reflejos indeseados.

Las películas fotográficas de uso corriente son sensibles a todos los colores del espectro luminoso (películas *pancromáticas*), por lo que deben mantenerse en oscuridad absoluta desde el momento de su fabricación hasta que finaliza la operación de revelado, a la que deben ser sometidas después de la exposición. Entre las sales que constituyen la emulsión sensible, generalmente cloruro de plata (ClAg), bromuro de plata (BrAg) y yoduro de plata (IAg), se encuentran algunos átomos de plata metálica, responsables en primera instancia del proceso que tiene lugar cuando la película es expuesta a la luz dentro de la cámara fotográfica. Los rayos luminosos sensibilizan esos átomos de plata libres de una forma proporcional a la cantidad de luz recibida, produciendo a su alrededor un agrupamiento de plata procedente de las sales que se encuentran en sus cercanías. Se dice entonces que existe una *imagen latente* porque este proceso tiene lugar en tan pequeñas proporciones que aún no es visible. Para que la imagen aparezca, es necesario introducir la película expuesta en un baño llamado *agente revelador*, que provoca una reacción en cadena rompiendo los enlaces del cristal y liberando grandes cantidades de plata metálica. El tiempo de duración de este proceso depende de la propia película, del tipo de revelador utilizado y de la temperatura del baño. Los fabricantes suministran una tabla con los tiempos requeridos en cada caso. Todavía en la oscuridad, la película se introduce en un baño de agua con unas gotas de ácido acético para detener uniformemente el efecto del revelador, y finalmente en una disolución de tiosulfato sódico (conocido como *hiposulfito de sosa*) en agua para eliminar de la emulsión los compuestos de plata no utilizados y fijar la imagen. A partir de ese momento la película puede examinarse a la luz. Ya sólo es necesario un profundo lavado, que haga desaparecer el resto del fijador, y proceder a su secado en una habitación limpia de polvo y sin corrientes de aire.

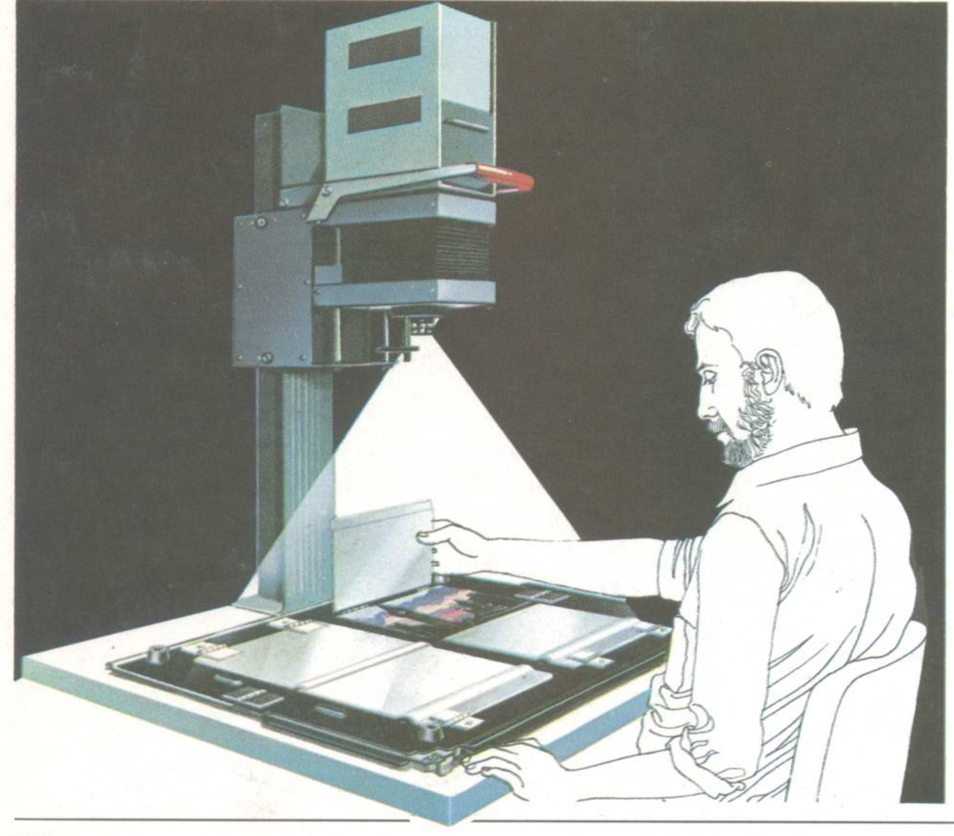
El resultado obtenido es una imagen en negativo. Las zonas luminosas han quedado impresionadas como oscuras y, al contrario, las que han recibido poca luz, como claras o transparentes.

Para la obtención de una fotografía positiva, se utiliza un papel con una emulsión similar a la de la película. Con la ayuda de una ampliadora se proyecta la imagen del negativo sobre un tablero a las dimensiones deseadas. El papel es expuesto a la luz de la ampliadora y después es revelado, fijado y lavado.

Sensibilidad de una película La característica más importante de las películas que el aficionado debe conocer es la *sensibilidad* o respuesta de las mismas a la luz recibida. En la actualidad se utilizan dos escalas normalizadas: una aritmética, la norteamericana ASA, numerada de 0 a 6.400 (y en la que una numeración doble representa una sensibilidad doble), y otra lineal, la alemana DIN, entre 0 y 39 (en la que tres puntos representan una sensibilidad doble). Las películas se clasifican en *lentas*, para sensibilidades menores de 50 ASA (18 DIN); *medias*, entre 50-200 ASA (18-24 DIN); *rápidas*, entre 200-800 ASA (24-30 DIN), y *ultrarrápidas*, mayores de 800 ASA.

A la hora de adquirir una película, la elección de la sensibilidad debe hacerse de acuerdo con las condiciones de luz estimadas en el lugar donde van a realizarse las tomas. Las películas lentas se utilizan con mucha luz ambiente. Tienen la ventaja de proporcionar una gran resolución que permite ampliaciones a tamaños grandes sin una pérdida apreciable de definición, por lo que se usan para reproducciones. Por el contrario, las películas rápidas y ultrarrápidas permiten fotografiar interiores, y en general en condiciones de luz escasa, pero a costa de un elevado tamaño del grano, apreciable incluso en copias pequeñas.

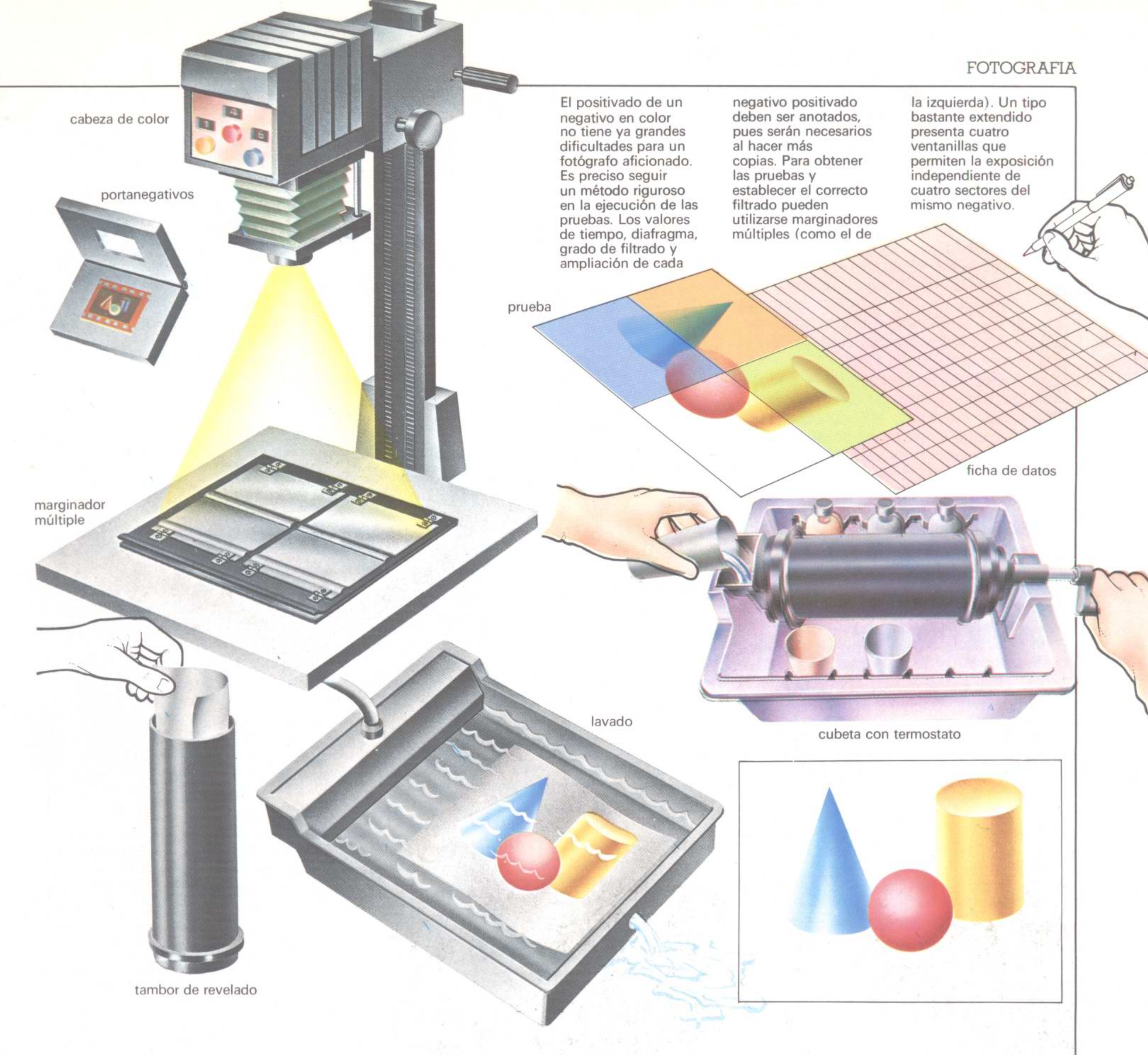
Para aplicaciones científicas, médicas e industriales existe en el mercado una gran variedad de películas especiales de muy diversas características. En la *película infrarroja*, la sensibilidad está ampliada a una pequeña región del infrarrojo. Generalmente se emplea con un filtro que elimina la banda del visible. En Medicina se utiliza para la localización de ciertas enfermedades de la piel. La *película Lith* elimina todos los medios tonos, convirtiéndolos en blancos y negros, y es de gran utilidad en artes gráficas para la reproducción de textos y dibujos. En la *película inversible*, la imagen que se obtiene una vez revelada es ya positiva. Es útil para proyectar y para imprimir.



La fotografía en color La aspiración de conseguir reproducir los objetos con sus colores reales sobre una emulsión sensible surgió inmediatamente al invento de la fotografía en blanco y negro. Durante los primeros años —y a falta de una mejor solución—, las copias sobre papel e incluso los daguerrotipos eran coloreados a mano con acuarelas o cualquier otro tipo de pigmento.

En 1861, el físico escocés James Clerk Maxwell, basándose en la teoría de Young de los colores primarios —según la cual cualquier color puede obtenerse mezclando luz roja, verde y azul—, consiguió la primera fotografía en color mediante un complejo procedimiento sin ninguna aplicación práctica.

A comienzos del presente siglo, los hermanos Lumière comercializaron las *placas autocromas*, primer procedimiento con éxito de fotografía en color. Las placas estaban formadas por una emulsión de blanco y negro sobre la que se había espol-



El positivado de un negativo en color no tiene ya grandes dificultades para un fotógrafo aficionado. Es preciso seguir un método riguroso en la ejecución de las pruebas. Los valores de tiempo, diafragma, grado de filtrado y ampliación de cada negativo positivado deben ser anotados, pues serán necesarios al hacer más copias. Para obtener las pruebas y establecer el correcto filtrado pueden utilizarse marginadores múltiples (como el de la izquierda). Un tipo bastante extendido presenta cuatro ventanillas que permiten la exposición independiente de cuatro sectores del mismo negativo.

voreado minúsculos granos de almidón teñidos de rojo, verde y violeta, previamente mezclados de manera uniforme. Las partículas quedaban adheridas al negativo con cola, y finalmente la placa era recubierta con un barniz. La función de los granos teñidos era actuar como filtro, permitiendo el paso sólo de su color. Después de la exposición, dos revelados de blanco y negro la convertían en diapositiva con puntos transparentes en las áreas en que el color del grano coincidía con el objeto fotografiado, y opaco el resto. El resultado era una diapositiva de colores apagados y de poca definición, pero en muchos casos de gran belleza.

Hasta 1930 no se comercializa la primera película de diapositiva en color, con un procedimiento similar al actual. En la base plástica se extienden tres emulsiones, cada una de ellas sensible a uno de los tres colores primarios, con unos pigmentos —denominados *copuladores de colores complementarios*— en su seno. Los colores complementarios de los primarios son también tres, y cada uno está formado por una mezcla de los otros dos. Así, el complementario del azul es una mezcla de verde y rojo, es decir, *amarillo*; el del rojo, un verde azulado denominado *cian*; y el del verde, una mezcla de rojo y azul conocida como *magenta*. En la exposición, cada color sensibiliza la emulsión correspondiente. Durante el proceso de revelado tienen lugar dos operaciones: los copuladores se sitúan en los lugares no sensibilizados y se elimina la plata metálica, quedando cada emulsión transparente sólo para su color. La unión de las tres imágenes crea todos los colores del espectro luminoso, y el resultado es una fiel reproducción del original.

El proceso negativo-positivo es básicamente similar, pero los copuladores están ligados precisamente a la plata metálica y no al contrario. Cada emulsión se tiñe del color complementario en las áreas sensibilizadas, por lo que se obtiene un negativo con los colores invertidos. Las deficiencias en la correcta reproducción de los distintos colores se corrigen con una máscara o capa, que confiere el color naranja dominante en este tipo de película.

En los últimos años, los procesos de revelado en color, tanto de diapositiva como de negativo, se han simplificado hasta tal punto que cualquier aficionado cuidadoso, con un equipo de revelado de blanco y negro, puede acceder al tratamiento de una gran parte del material sensible existente en el mercado.

Véase **Cámara fotográfica; Fotografía, iluminación; Laboratorio fotográfico; Lente**

Fotográfica, iluminación

Cuando se desea realizar una fotografía, el primer requisito necesario para obtener un correcto resultado es la disponibilidad de una adecuada iluminación del motivo. En algunos casos, con la elección de un punto de vista que realce los aspectos de interés, la luz existente puede ser suficiente para conseguir el efecto deseado; pero lo más frecuente, sobre todo cuando se trabaja en interiores, es disponer de una luz escasa o mal distribuida. Para estas situaciones se utiliza iluminación artificial que posibilita el control de la luz sobre los distintos elementos que componen el motivo.

En los primeros tiempos de la fotografía, y debido a la baja sensibilidad de las emulsiones existentes, el problema a resolver era conseguir la intensidad suficiente para impresionar las placas. Los procedimientos utilizados en la época estaban basados en la ignición de una cierta cantidad de materia inflamable de rápida combustión. Entre ellos, el de uso más generalizado consistía en un cajetín conteniendo magnesio en polvo mezclado con clorato de potasa. En un momento dado se hacía saltar la chispa, y la mezcla ardía instantáneamente emitiendo una gran cantidad de luz. Pese a la toxicidad del humo resultante de la combustión y a la extrema peligrosidad que suponía la manipulación de esos materiales, el *flash* de magnesio se empleó durante muchos años a falta de una mejor solución, y no fue abandonado hasta ya muy entrado el siglo XX, con la aparición de los primeros *flashes* de bombilla: pequeños, seguros y verdaderamente portátiles. En la actualidad, los *flashes* más utilizados son de tipo electrónico reutilizables, habiendo quedado los de bombilla limitados a las cámaras automáticas sencillas.

Flash de bombilla y flash electrónico

Ambos tipos están diseñados para producir una luminosidad muy intensa y uniforme en el momento de presionar el obturador. El *flash* de bombilla, también llamado *de bulbo,* consiste en una ampolla de vidrio cerrada, llena de oxígeno y recubierta de una película plástica transparente para evitar la proyección de esquirlas de vidrio en caso de explosión. En su interior contiene un filamento de aluminio, circonio o magnesio, que se activa mediante un impulso eléctrico ordenado por la cámara fotográfica en el momento del disparo. La pequeña corriente creada a través del filamento es suficiente para incendiarlo en un tiempo aproximado de unos 50 ms, produciendo un intenso destello luminoso.

En general, este tipo de *flashes* se comercializa en grupos de cuatro, formando un cubo, y van montados directamente sobre la cámara. Su principal inconveniente es que sirven para una sola vez.

Los *flashes* electrónicos, por el contrario, aunque más pesados y de precio más elevado, pueden ser utilizados miles de veces sin más gasto que la sustitución de las baterías cuando éstas se han agotado

iluminación frontal

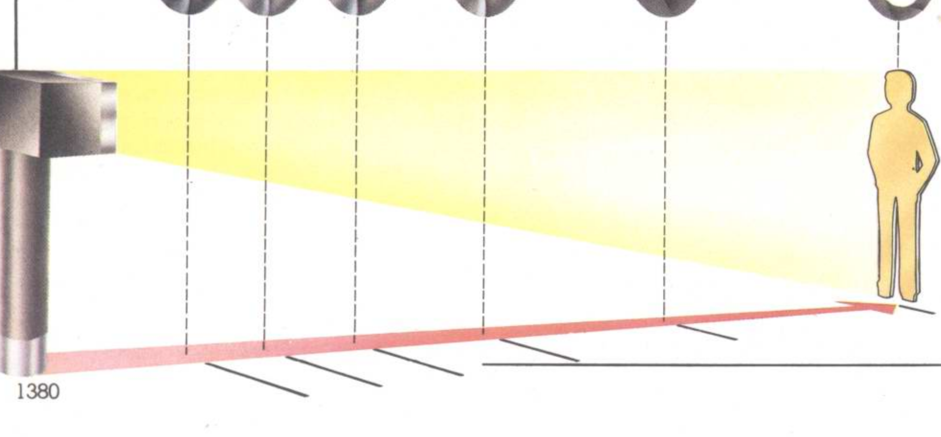
iluminación lateral

iluminación posterior

iluminación cenital

iluminación inferior

En la iluminación fotográfica con una única fuente de luz (arriba) pueden considerarse cinco casos fundamentales, dependiendo de la situación de la fuente de luz. La intensidad de luz emitida por el *flash* (abajo, a la izquierda) disminuye con la inversa del cuadrado de la distancia.



(de 50 a 100 disparos). El destello luminoso se produce en un tubo cerrado en el que se ha creado una atmósfera a base de un gas inerte, generalmente xenón. Cuando el *flash* se conecta, un condensador toma de las baterías una gran cantidad de energía que almacena en su interior. En el momento del disparo se produce una súbita descarga eléctrica en el interior del tubo, que ioniza el gas obligándolo a emitir un destello instantáneo (1/1.000) de gran intensidad y de un tipo similar al solar.

Las cámaras están sincronizadas para hacer coincidir el disparo del *flash* con el momento en el que el obturador está abierto. El diafragma, que debe seleccionarse, se calcula a partir de la distancia al sujeto y de la sensibilidad de la película, aplicando unas tablas que vienen impresas en el propio *flash*.

Otras fuentes de iluminación La utilización de una fuente puntual única situada junto a la cámara da como resultado fotografías planas, sin profundidad. Para evitar esto, pueden emplearse *flashes* secundarios, situados en distintos ángulos, que son accionados por células fotoeléctricas simultáneamente con el *flash* principal; de ese modo se suavizan las sombras y se mejora el relieve; no obstante, el resultado final sigue siendo un tanto incierto. Los fotógrafos profesionales, cuando trabajan en estudios, suelen utilizar focos de iluminación continua que permiten controlar exactamente la distribución de luces y sombras. Según el esquema clásico, una fuente principal de luz concentrada e intensa, generada por proyectores del tipo de los existentes en los teatros —denominados *spots*—, es suavizada por lámparas de bombillas opalinas que proporcionan luz difusa (*photoflood*) y por reflectores de pantalla o de paraguas.

El color dominante de la luz generada por un cuerpo (y, por tanto, de las fuentes de uso fotográfico) depende de la temperatura de dicho cuerpo, y es un dato muy importante a tener en cuenta cuando se utiliza película de color. El Sol, por ejemplo, con una temperatura en su atmósfera de unos 5.500 K, emite una luz fundamentalmente blanca, mientras que los cuerpos más fríos dan lugar a tonalidades más rojizas. Las películas para exteriores están equilibradas para "luz de día", es decir, para luz solar o similar a ella, y en las fotografías tomadas en esas condiciones los colores se reproducen correctamente. Sin embargo, las lámparas o focos de tungsteno —a 3.200 K— confieren una tonalidad anaranjada a la luz por ellos emitida, que se verá reflejada en el resultado final si se utiliza este tipo de película. Con el fin de corregir esta deficiencia, se fabrican películas especialmente ideadas para luz artificial, y por tanto corregidas de la dominante naranja.

El empleo conjunto de la luz natural y artificial puede resultar interesante para producir efectos espectaculares o para centrar al espectador en una determinada área de interés del cuadro. Este tipo de iluminación es usado preferentemente por los fotógrafos de publicidad.



Arriba, los aparatos para iluminación fotográfica de uso más extendido entre los aficionados. Entre las diferentes fuentes de luz adoptadas antes de la difusión de las lámparas electrónicas, la más generalizada fue el *flash* de magnesio (abajo, a la izquierda): su intenso resplandor permitía exposiciones prácticamente instantáneas. El modelo representado iba montado sobre un bastón y era accionado mediante un percutor de resorte.

Véase **Cámara fotográfica; Fotografía**

Fotografía aérea

Las fotografías aéreas, en cuanto imágenes de la superficie terrestre obtenidas desde alturas variables, están enriqueciendo de forma extraordinaria el conocimiento de todos los hechos y procesos visibles que se desarrollan sobre la misma y en las capas bajas de la atmósfera.

Aunque a efectos de divulgación se utilizan fotografías aéreas oblicuas, habitualmente se trabaja con imágenes obtenidas desde una perspectiva vertical mediante cámaras fotográficas transportadas en aviones o en satélites artificiales; a partir de los años setenta se dispone además de otros tipos de información que, sin ser fotografías en sentido estricto, dan imágenes de aspecto e interpretación similar, y que se enmarcan dentro del campo de la *Teledetección*; corresponden a este tipo las imágenes obtenidas por rádar desde aviones y, sobre todo, la amplia gama de información vía satélite, entre la que destacan las imágenes de televisión (satélites meteorológicos tipo NOAA, NIMBUS o METEOSAT), las imágenes multiespectrales de los satélites de evaluación de recursos naturales (sistema MSS de los satélites LANDSAT, que cubre una amplia banda del espectro electromagnético), termografías, etcétera.

Las fotografías aéreas en sentido estricto se realizan en forma de "barridos" o pasadas del avión sobre el terreno a lo largo de bandas paralelas, de manera que cada fotograma tiene aproximadamente el 60% de su superficie común con el contiguo; este recubrimiento del terreno desde dos perspectivas distintas (las dos posiciones sucesivas del avión en cada toma) permite reconstruir el modelo real del relieve terrestre al ser observadas estereoscópicamente, lo que constituye una de las principales ventajas de las fotografías aéreas convencionales.

La aplicación más inmediata es su utilización para realizar mapas, mediante la *restitución fotogramétrica* que, en esencia, consiste en eliminar una serie de deformaciones geométricas que son inherentes a la fotografía aérea (desplazamiento del relieve) y otras debidas a ligeras oscilaciones del avión (variación de altura de vuelo, desviación de la ruta prevista, inclinación, etc.); una vez reconstruido el modelo geométrico correcto, se procede a la realización de mapas topográficos donde el trabajo de campo se simplifica de forma extraordinaria, lo que redunda en que el tiempo necesario es aproximadamente la mitad que en Topografía de campo, y permite además una actualización constante de la información.

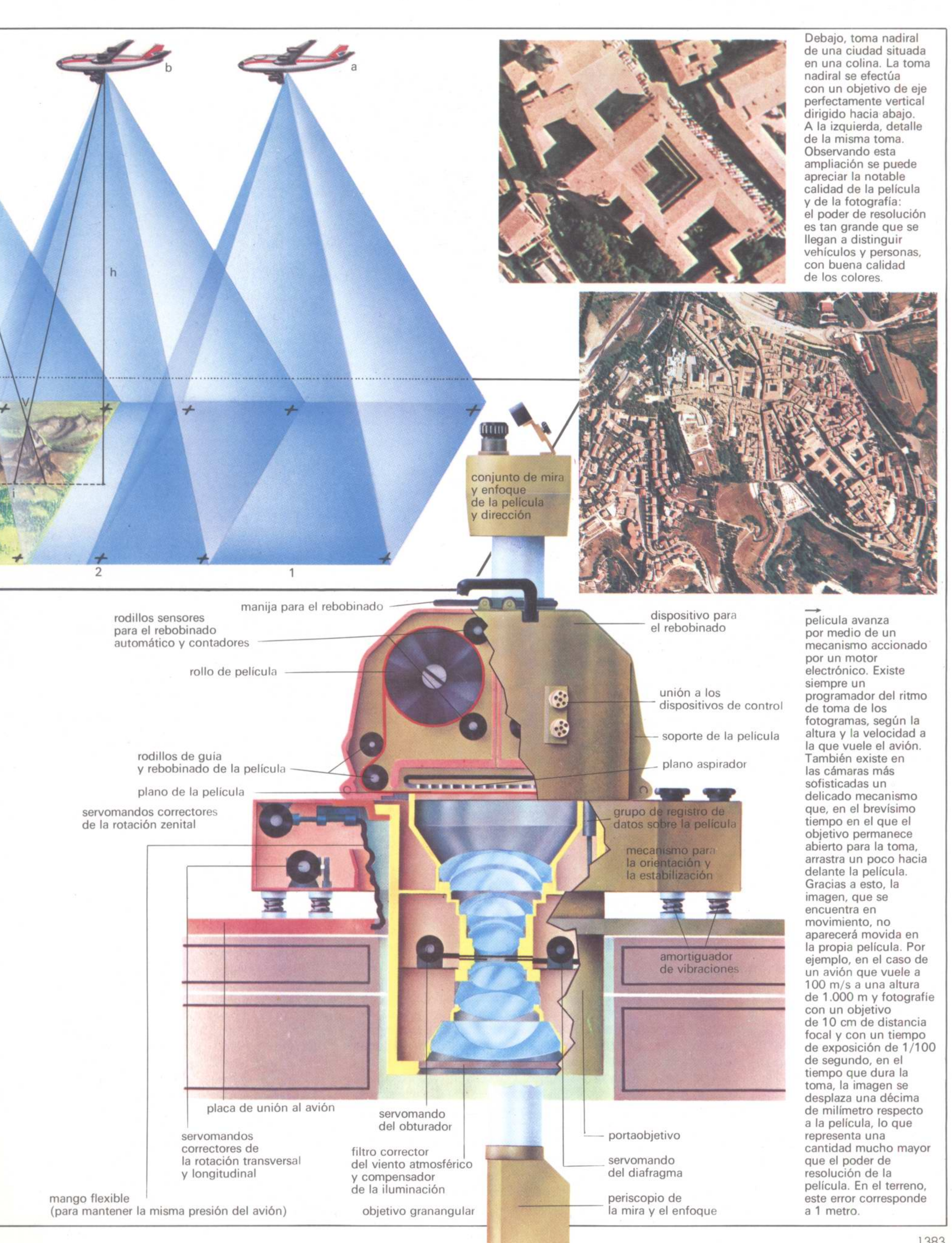
Un procedimiento distinto de la restitución fotogramétrica es la *ortofotografía*, que consiste en ir eliminando la deformaciones geométricas de cada fotograma subdividiéndolo en pequeñas celdillas, con lo que se consigue una imagen del terreno que es geométricamente correcta y que puede ser utilizada igual que un mapa, con la ventaja adicional de ofrecer información directa de aspectos tales como vegetación, usos del suelo, parcelación o morfología urbana etc., si bien se pierde la posibilidad de visión en relieve. Este sistema es de gran utilidad en países o regiones que carecen de cartografía de base, ya que supone una gran rapidez y por tanto costos de realización muy inferiores a los de la cartografía tradicional.

Por otra parte, las imágenes pueden ser impresionadas sobre distintos tipos de película; las más utilizadas son las pancromáticas, que captan una gama similar a la del espectro visible, y que a su vez pueden ser en blanco y negro o en color; estas últimas, pese a su espectacularidad y facilidad de lectura para los no especialistas, se utilizan escasamente debido a los elevados costes de su realización y a una menor definición de la imagen. Para algunos fines específicos, se trabaja con películas que son sensibles a longitudes de onda distintas de las del espectro visible, destacando en especial las de tipo infrarrojo, que resultan de gran utilidad en zonas de abundante humedad y nubosidad, ya que eliminan estas longitudes de onda y permiten obtener imágenes de gran nitidez (aplicación a zonas tropicales húmedas, por ejemplo). Finalmente, otros tipos de película, o sensores en general, captan diferencias de temperatura, pues son sensibles al infrarrojo bajo o térmico, de manera que las imágenes resultantes (*termografías*) muestran las diferencias de temperatura del agua, suelo o atmósfera, siendo de excepcional interés para la detección de focos de contaminación, emisión de humos, vertidos cálidos en ríos o mar,

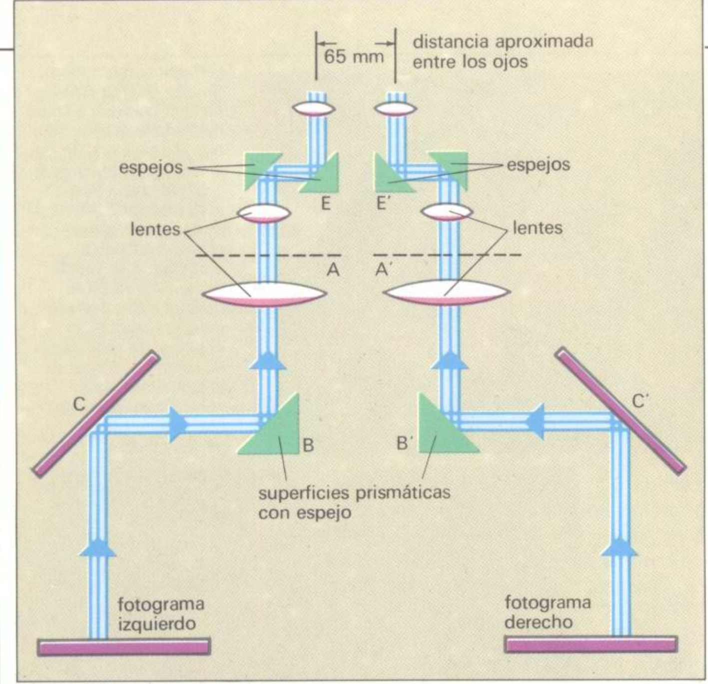
El avión que efectúa las tomas sobrevuela el terreno cuyo levantamiento se desea obtener (1). En b, hace la primera toma, en la que aparece un punto elevado V. La cámara fotográfica señala sobre la película unas cruces de referencia. En el fotograma 2, tomado desde b, el punto V se encuentra separado una distancia *d* de una recta formada por la unión de dos de las cruces de referencia. A continuación, el avión recorre la distancia que le separa de un punto *c* y efectúa una nueva toma. Al haberse desplazado hacia delante en este intervalo de tiempo, el punto V en el siguiente fotograma 3 queda situado más atrás. La nueva distancia es *d'*: a partir de la diferencia de distancias *d* y *d'*, de la altura de vuelo *h* y de la distancia *i* entre las verticales que pasan por los puntos de toma, se pueden deducir no sólo la posición exacta del punto V respecto del terreno, sino también su cota referida a él. En la práctica, la reconstrucción no es tan simple; el avión, debido a turbulencias del aire, se puede inclinar algo hacia abajo, hacia arriba o lateralmente, con lo que se complican los cálculos necesarios para determinar la verdadera altura a la que se encuentra el punto V respecto a la superficie del terreno.

A la derecha de estas líneas, y en la página siguiente, cámara para la toma de fotografías aéreas utilizada en levantamientos topográficos. Se emplean normalmente objetivos granangulares de f.1:4. Estos objetivos son proyectados y construidos expresamente con dicho fin. Entre una toma y la siguiente la →

Debajo, toma nadiral de una ciudad situada en una colina. La toma nadiral se efectúa con un objetivo de eje perfectamente vertical dirigido hacia abajo. A la izquierda, detalle de la misma toma. Observando esta ampliación se puede apreciar la notable calidad de la película y de la fotografía: el poder de resolución es tan grande que se llegan a distinguir vehículos y personas, con buena calidad de los colores.



→ película avanza por medio de un mecanismo accionado por un motor electrónico. Existe siempre un programador del ritmo de toma de los fotogramas, según la altura y la velocidad a la que vuele el avión. También existe en las cámaras más sofisticadas un delicado mecanismo que, en el brevísimo tiempo en el que el objetivo permanece abierto para la toma, arrastra un poco hacia delante la película. Gracias a esto, la imagen, que se encuentra en movimiento, no aparecerá movida en la propia película. Por ejemplo, en el caso de un avión que vuele a 100 m/s a una altura de 1.000 m y fotografíe con un objetivo de 10 cm de distancia focal y con un tiempo de exposición de 1/100 de segundo, en el tiempo que dura la toma, la imagen se desplaza una décima de milímetro respecto a la película, lo que representa una cantidad mucho mayor que el poder de resolución de la película. En el terreno, este error corresponde a 1 metro.











Arriba, a la izquierda, principio de la trayectoria seguida por los rayos luminosos en el estereoscopio de espejos: las imágenes de cada uno de los fotogramas observados (izquierdo y derecho) son reflejadas con una inclinación de 45° por un par de espejos (C y C'), estos rayos luminosos a su vez son reflejados por una serie de prismas (B y B', E y E'), siempre con una inclinación de 45°, de modo que el observador percibe dos haces luminosos paralelos entre sí y a una distancia igual a la interpupilar (65 mm aproximadamente). Las lentes facilitan la observación de la imagen mediante rayos paralelos (y no convergentes como en la lectura habitual del ojo humano), y además pueden

escapes en instalaciones industriales, etcétera.

La Fotointerpretación o análisis de fotografías aéreas se lleva a cabo con la ayuda de *esteroescopios*, que facilitan la visión en relieve: provistos de lentes planoconvexas, se observa la parte común de dos fotogramas consecutivos, de manera que el ojo izquierdo sólo ve la imagen en la fotografía izquierda, y el derecho, la correspondiente de ese lado; al realizarse la fusión de ambas imágenes se obtiene un modelo único pero en tres dimensiones, donde es posible detectar y medir cualquier desnivel del terreno.

La riqueza de información y la observación en relieve explican el hecho de que las fotografías aéreas sean utilizadas por una amplia gama de profesionales, que incluye a todos aquellos interesados en la distribución espacial de cualquier aspecto, ya que se pueden observar y deducir elementos visibles y no visibles situados en la superficie terrestre, elementos no visibles en el terreno localizados ligeramente por debajo de la superficie (yacimientos arqueológicos, ciertas fallas, por ejemplo), y reconocimiento de los niveles superiores de las masas de agua. Por citar sólo las aplicaciones más frecuentes, se utilizan de forma sistemática para la detección de posibles yacimientos minerales y de hidrocarburos, inventarios de recursos naturales en general (valoración de masas arbóreas en zonas forestales de difícil acceso), localización de restos arqueológicos no visibles en superficie; identificación de cualquier elemento del relieve terrestre (litología, estructuras, formas de origen climático), reconocimiento de cultivos, usos del suelo en general, morfología agraria, elementos que integran los espacios urbanos (plano, tipos de edificios, funciones, tipología de áreas residenciales, actividades industriales, sistemas de transporte.) La información global e integradora de las fotografías aéreas facilita en definitiva que sean utilizadas por equipos interdisciplinarios interesados en el planeamiento y ordenación del territorio, así como en los inventarios integrales de recursos y su alteración por los grupos humanos.

Por lo que se refiere a las imágenes obtenidas por teledetección, son más complejas de interpretar que las fotografías aéreas convencionales, de manera que habitualmente requieren el uso de la informática para una explotación adecuada, pudiéndose aplicar, por ejemplo, a la realización directa mediante ordenador de mapas temáticos de usos del suelo a partir de una "fotografía" del sátelite LAND-



Azimut, S. A.

introducir varios aumentos para el correcto análisis de las fotografías aéreas. A la derecha, realización de un trabajo de fotointerpretación con un estereoscopio.

En la página anterior, en la parte central, serie de fotogramas consecutivos en los que puede observarse cómo algo más de la mitad derecha del primero (60%) coincide con la mitad izquierda del segundo, y así sucesivamente. Es precisamente la observación simultánea de una misma superficie desde dos posiciones distintas la que permite la visión en relieve, llamada también estereoscópica. En el margen de los fotogramas aparece una serie de instrumentos que dan toda la información necesaria de las condiciones de realización de la fotografía: hora del día, fecha, altura de vuelo del avión sobre el nivel del mar y distancia focal de la cámara (distancia desde el objetivo al centro de la película). Estos dos últimos datos son los que permiten calcular la escala exacta de cualquier punto, aplicando la fórmula:

$$\text{Escala} = \frac{\text{f (distancia focal)}}{\text{H (altura del avión sobre el terreno)}}$$

Las películas en falso color ofrecen una gama cromática que no se corresponde con la realidad, siendo las más utilizadas las de infrarrojo color, aplicadas a estudios de vegetación. La clorofila es "transparente" al infrarrojo, por lo que las masas de vegetación con actividad clorofílica intensa dan tonos rojos; a medida que el contenido en clorofila disminuye (vegetación enferma, hojas secas, cultivos en fase de maduración) van apareciendo tonos marrones, hasta llegar al verde que indica la ausencia de actividad clorofílica. Este tipo de películas se han venido aplicando con excelentes resultados para la detección de determinadas enfermedades en árboles de elevado valor ecológico o económico. En la imagen, fotografía en falso color del río Tajo a su paso por Aranjuez, España.

SAT. No obstante, presentan una importante limitación, ya que hasta el momento sólo son válidas para hechos de gran tamaño (en el satélite LANDSAT, el nivel mínimo de resolución es de 70 metros); la importante ventaja alternativa es que ofrecen una información frecuente, periódica y actualizada, lo que permite analizar la evolución temporal de procesos tales como evolución y predicción meteorológica, corrientes marinas, evolución de desastres naturales (inundaciones, tifones...), efectos de contaminación a gran escala (vertidos de petróleo...), consecuencias de incendios o sequías, variaciones estacionales de usos del suelo en toda la superficie terrestre, por no citar las aplicaciones de carácter bélico realizadas por las grandes potencias.

Véase **Espectro; Radar; Teledetección**

Fotómetro y exposímetro

Antes de hacer una fotografía, el fotógrafo debe establecer cómo regular la apertura del diafragma de su cámara (es decir, la apertura del mecanismo encargado de dejar pasar más o menos luz a través del objetivo hasta la película) y la velocidad del obturador (el período de tiempo durante el cual el obturador se mantiene abierto para dejar pasar una determinada cantidad de luz). El instrumento más precioso de que se sirve el fotógrafo cuando debe tomar estas decisiones es la experiencia. Inmediatamente después de ésta viene el exposímetro que aplicado a las cámaras fotográficas recibe el nombre de fotómetro.

Los exposímetros clásicos contienen una célula fotoeléctrica (generalmente de selenio) cuya función es convertir la energía luminosa que le llega en una corriente eléctrica, cuya intensidad puede ser medida y registrada por un indicador adecuado, como por ejemplo un galvanómetro. En muchos exposímetros modernos, sin embargo, el procedimiento es distinto. La fotocélula es de sulfuro de cadmio, material que posee la propiedad de variar su resistencia, en función de la intensidad de luz recibida, controlando el paso de la corriente de una batería al instrumento medidor. La cantidad de luz que incide sobre la célula determina, pues, la cantidad de electricidad que alcanza el indicador y le hace mover la aguja. En los exposímetros incorporados en los tipos corrientes de cámaras fotográficas "réflex", la luz entra en el objetivo y se refleja en un pequeño espejo dispuesto en un ángulo tal que la proyecta sobre un prisma óptico. En cada una de las dos partes del visor está dispuesta una célula de sulfuro de cadmio que mide la luz reflejada por una mitad del área del campo de la fotografía.



Aun cuando continuamente se están perfeccionando los exposímetros incorporados en los aparatos fotográficos, siguen presentándose en el mercado sofisticados sistemas de medida de la luz, independientes de las cámaras, útiles para afrontar una solución exacta a los problemas de exposición. Aquí debajo, un exposímetro de luz incidente que → proporciona una lectura continua de los pares tiempo/diafragma y va provisto, además, de una memoria de datos múltiples que permite almacenar (y después volver a recuperar) hasta dos lecturas de exposición, para confrontarlas con una tercera lectura. Arriba, un exposímetro de tipo "spot" que mide un punto del objeto que va a ser fotografiado a través de un visor con un ángulo de lectura de sólo un grado. Ambos tipos van controlados por un microprocesador y poseen una pantalla digital de cristal líquido.

Tipos de exposímetros No todos los exposímetros miden la luz del mismo modo. La mayor parte son del tipo *de luz reflejada*, como el arriba descrito, y miden la luz que es reflejada por el objeto que se quiere fotografiar. Los exposímetros *de luz incidente*, en cambio, llevan una semiesfera de vidrio opalino o de material plástico sobre la célula que actúa como pantalla difusora de la luz. El fotógrafo dirige el exposímetro hacia la fuente luminosa, lo que le permite medir toda la luz incidente que lo ilumina.

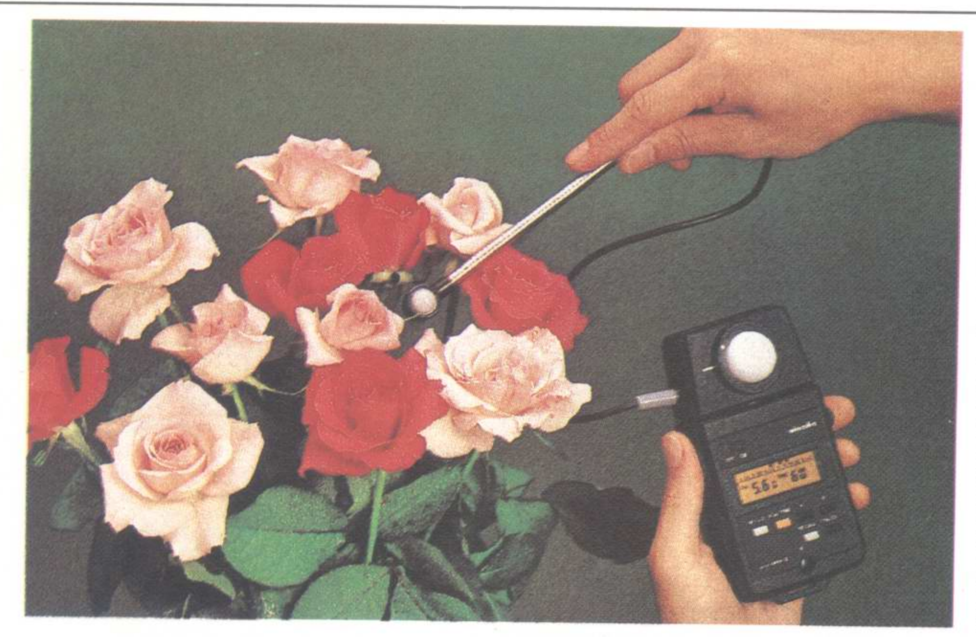
Otros exposímetros son del tipo *de integración*, o de media, y captan un poco de luz de cada parte de la escena, obteniendo un valor promediado de todo el área del fotograma. El exposímetro *de preponderancia central*, da un mayor peso al centro de la escena, y esto lo consigue añadiendo al prisma óptico principal otro prisma más pequeño enfrente de cada fotocélula, dirigido hacia el centro, de tal modo que las dos células de sulfuro de cadmio "leen" partes superpuestas de la escena. Cada uno de los tipos mencionados tiene su aplicación idónea en determinadas condiciones de iluminación. En condiciones normales, con una distribución suave de luz sobre el sujeto, todos ellos dan, como es lógico, una exposición similar.

Como se ha precisado más arriba, los exposímetros a menudo van incorporados en la cámara fotográfica, ofreciendo en este caso indudables ventajas de compatibilidad y conveniencia. Puede ser que, además, sean separables, en cuyo caso ofrecen al fotógrafo una mayor flexibilidad y precisión, pues éste puede efectuar medidas muy próximas al objeto.

Por ejemplo, en un desfile de modas, con la cámara sobre un trípode a una cierta distancia, el fotógrafo puede separar el exposímetro y acercarse para medir la intensidad luminosa de cada una de las prendas de la modelo y así seleccionar la exposición exacta del motivo de su interés.

En los exposímetros, también los indicadores pueden ser de diversos tipos. Algunos tienen una señal que debe ser centrada entre dos extremos. Si la luz que incide sobre la célula provoca una desviación hacia arriba o hacia abajo, el fotógrafo puede saber que el tiempo de exposición es erróneo. En los exposímetros de superposición de agujas, una primera aguja da indicación de la exposición justa y el fotógrafo regula después la apertura del diafragma y la velocidad del obturador hasta que una segunda aguja se superpone a la primera. Cuando, sin embargo, su experiencia personal le sugiera que una sobreexposición o subexposición deliberadas podrían hacer más interesante una cierta fotografía, el exposímetro puede convertirse en un instrumento con el que ayudar a la creatividad del fotógrafo.

Véase **Cámara fotográfica; Fotografía, iluminación**



A la izquierda, el exposímetro de la figura anterior provisto de una sonda que permite conocer la luz incidente en un área pequeña cerca del motivo. Es de gran utilidad cuando se realiza macrofotografía, proporcionando datos sobre la velocidad y diafragma que deben utilizarse. Abajo, representación esquemática de un exposímetro de fotorresistencia que tiene como elemento sensor una fotorresistencia generalmente de sulfuro de cadmio, de silicio o de fosfoarseniuro de galio. Dicha resistencia está conectada en serie a un microamperímetro y a una batería: la variación del valor de resistencia de la célula, resultado del aumento o disminución de la luz incidente, provoca la desviación de la aguja del microamperímetro que, moviéndose sobre una escala convenientemente graduada, indica los valores de apertura del diafragma y tiempo de exposición que deben ajustarse en la cámara para que la fotografía resulte correcta.

escala de lectura

microamperímetro

calculador de exposición

interruptor

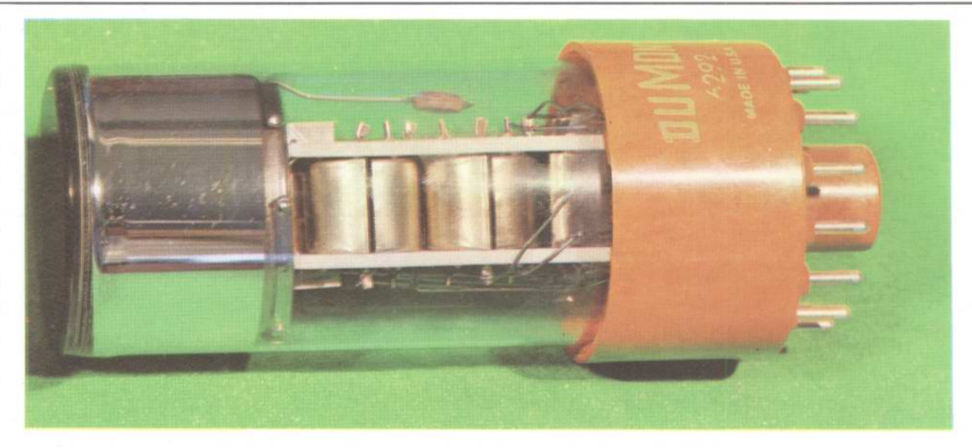
batería

rejilla limitadora de la luz

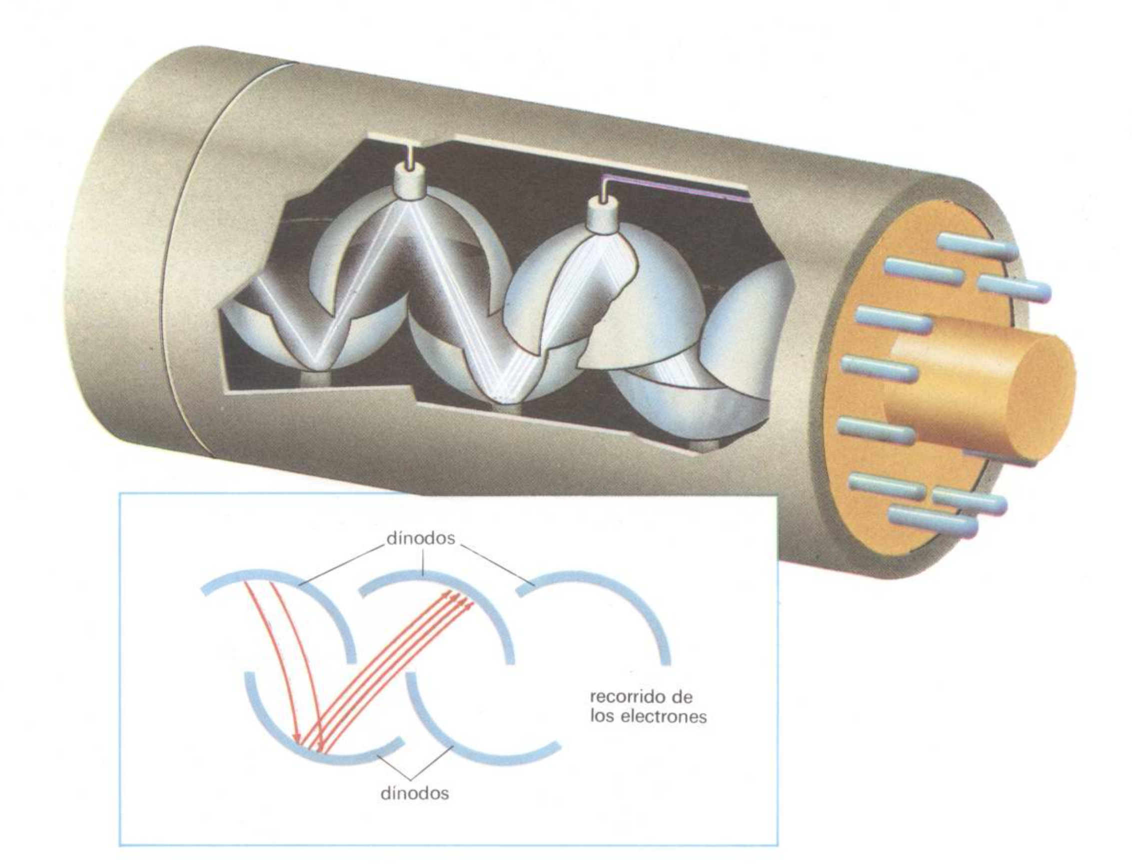
elemento fotorresistente de sulfuro de cadmio, de silicio o de fosfoarseniuro de galio

Fotomultiplicador

El buscador de yacimientos de uranio que utiliza un contador de centelleo, el médico que mide la concentración de un elemento radiactivo introducido en el cuerpo humano y el astrónomo que estudia las estrellas tienen que detectar ondas electromagnéticas demasiado pequeñas como para que los aparatos de medida comunes puedan registrarlas. Por ello han de valerse de dispositivos electrónicos especiales para *amplificar* las señales débiles que reciben. Podemos considerar estos dispositivos, llamados *fotomultiplicadores*, como *fotocélulas* complejas, que en algunos casos son capaces de amplificar la señal más de un millón de veces.



En el fotomultiplicador de aquí arriba se ha eliminado el revestimiento metálico externo para observar su estructura. Este tipo de fotomultiplicador se utiliza en los contadores de centelleo para detectar la presencia de rayos gamma. En el contador de centelleo el fotomultiplicador está acoplado a un cristal que transforma la radiación gamma en luz. Esta luz llega al fotocátodo, que a su vez la transforma en un impulso proporcional a la intensidad del rayo que ha alcanzado el cristal.



A la izquierda, representación de un fotomultiplicador con estructura lineal en el que se distinguen bien los dínodos (parecidos a ventosas). Debajo se puede ver el esquema del recorrido realizado por los electrones y su multiplicación cada vez que alcanzan un dínodo.

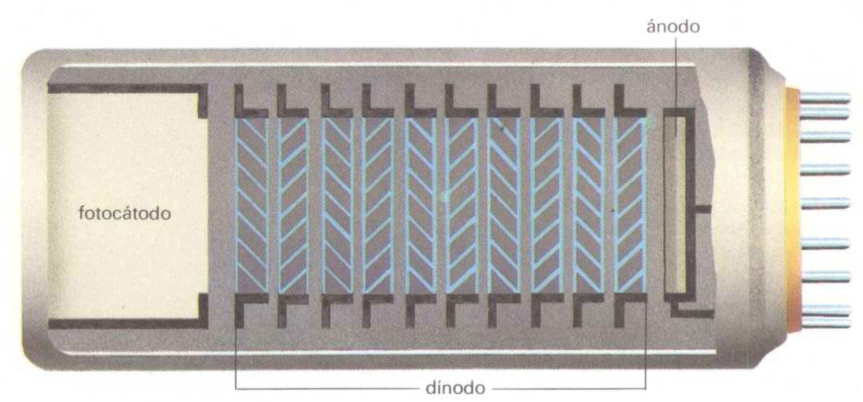
Efecto fotoeléctrico El término *efecto fotoeléctrico* indica ciertos fenómenos eléctricos que se producen en metales o en gases al incidir sobre ellos una radiación luminosa. Este efecto fue descubierto por Hertz en 1887 utilizando rayos ultravioleta. Posteriormente, Hallwachs comprobó que un metal con carga eléctrica negativa emite electrones, perdiendo su carga cuando recibe radiación ultravioleta. Este comportamiento se llama *efecto fotoeléctrico externo* (existiendo también el *efecto fotoeléctrico interno*, que se manifiesta como un aumento de conductividad del metal radiado).

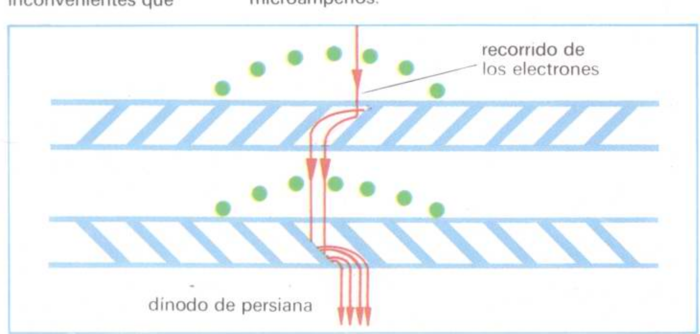
Una aplicación directa del efecto fotoeléctrico se tiene en las *células fotoeléctricas* (fotocélulas) utilizadas habitualmente en los sistemas de alarma antirrobo y en los sistemas de apertura automática de puertas. Una célula fotoeléctrica de vacío consiste en un tubo en el que se ha hecho el vacío y en cuyo interior hay dos electrodos: el *cátodo*, que está cubierto con productos químicos que emiten electrones cuando reciben radiación luminosa (se utilizan preferentemente metales alcalinos, como potasio, sodio y rubidio, que presentan un acusado efecto fotoeléctrico, incluso con la luz blanca normal), y el *ánodo*, que generalmente es de wolframio. Una fuente de tensión está unida a los dos electrodos, de forma que cuando el cátodo emita electrones, éstos se dirijan hacia el ánodo, siendo una fuente luminosa el elemento que controla el paso de corriente. En los sistemas de alarma y de apertura de puertas, la interrupción del rayo de luz que incide en la fotocélula corta la corriente eléctrica y produce la señal de alarma o la apertura de la puerta.

La célula fotoeléctrica necesita una intensidad luminosa relativamente alta y por eso se utiliza el fotomultiplicador cuando se intenta detectar intensidades luminosas muy pequeñas.

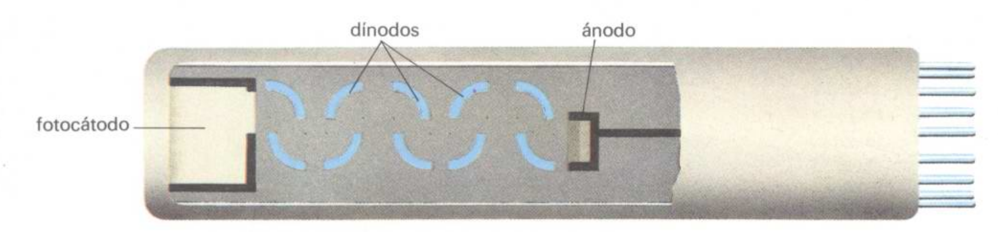
Igual que las células fotoeléctricas, el fotomultiplicador tiene un cátodo recubierto con un producto químico que emite electrones cuando recibe un rayo de luz o partículas con carga eléctrica. Pero en el fotomultiplicador los electrones no llegan directamente al ánodo, sino que chocan con diversos electrodos —llama-

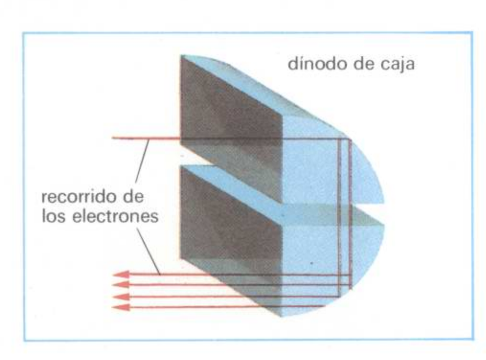
A la derecha, sección de un fotomultiplicador de persiana. Bajo estas líneas se ha esquematizado el recorrido de los electrones (flechas rojas). La forma y posición de los dínodos es importante, ya que a lo largo del trayecto de los electrones no se tiene que perder ninguno de éstos. Además el enfoque tiene que ser óptimo para obtener la mejor fidelidad posible en la salida. Uno de los inconvenientes que dificulta la respuesta del fotomultiplicador para señales luminosas bajas es el llamado *ruido de fondo,* que depende de la temperatura del fotocátodo. Es aconsejable, para aplicaciones particulares, mantener el fotocátodo a temperaturas bajas (de −20 °C a −30 °C, dependiendo de las exigencias). El ruido de fondo puede provocar en el ánodo corrientes con una intensidad de 0,005 a 2 microamperios.





La utilidad de un fotomultiplicador reside en la propiedad que tienen sus dínodos de emitir varios electrones por cada uno que reciben: o sea, la emisión secundaria. El coeficiente de emisión secundaria para cada dínodo se define como la relación entre el número de electrones producidos (electrones secundarios liberados) y el número de electrones incidentes. Este coeficiente depende del tipo de material que recubre el dínodo, y puede variar entre un mínimo de 2 y un máximo de 5. Para el recubrimiento de los dínodos se utiliza (excepto en casos particulares) antimoniuro de cesio (el coeficiente de emisión de este recubrimiento es de 5 para electrones con energías comprendidas entre 100 y 120 eV, óxido de berilio, con aleación de berilio y cobre, o también óxido de magnesio con aleación de plata y magnesio (el coeficiente de emisión secundaria para estos recubrimientos es de 3 aproximadamente para electrones con energías de 100 eV).





Arriba, sección de un fotomultiplicador de caja y, a la izquierda, detalle de un dínodo de caja en el que se ha destacado el recorrido realizado por los electrones (flechas rojas). En la mayor parte de los fotomultiplicadores, la diferencia de potencial entre los dínodos sucesivos varía entre 50 V y 180 V.

dos *dínodos*— recubiertos de un material con la propiedad de emitir varios electrones por cada uno que recibe (*emisión secundaria*).

Cuando un rayo de luz débil alcanza el cátodo, produce la emisión de un electrón, que se dirige al primer dínodo, donde, a consecuencia del choque, se emiten, por ejemplo, 4 electrones; estos 4 electrones se dirigen al segundo dínodo, donde cada uno de ellos puede producir otros 4 electrones, formando un total de 16. Estos electrones se dirigen al siguiente dínodo, se multiplican y así sucesivamente. Entre cada paso y el siguiente hay una diferencia de potencial que aumenta ligeramente de un paso al otro, de manera que se asegure el orden establecido para el camino de los electrones. El número de electrones que llega al ánodo es por tanto mucho mayor que el número que había salido inicialmente del cátodo. El número de electrones que llega al ánodo dividido por los electrones iniciales se llama *ganancia* del fotomultiplicador. Existe también un tipo de fotomultiplicador basado en materiales semiconductores que se denomina *fotomultiplicador electrónico de canal* (o *CEM*).

Los CEM tienen un único dínodo largo (en vez de dínodos separados) cuya superficie, de material semiconductor, recubre el interior de un tubo con forma de C, o canal. En el interior del tubo se mantiene un campo eléctrico que barre los electrones que entran, haciéndolos salir por el otro extremo. Un electrón que entra en el canal golpea varias veces la superficie del dínodo durante el tiempo en que recorre la curvatura: en cada choque se emiten varios electrones, que son arrastrados por el campo eléctrico. El efecto de avalancha resultante es similar al que se tiene en un fotomultiplicador. Estos dispositivos se utilizan mucho en las sondas espaciales para medir niveles de radiación extremadamente bajos.

Véase **Célula fotoeléctrica; Contador de centelleo; Semiconductor**

Fotoquímica

Fenómenos tan dispares como la fotografía, las células solares, los barnices fluorescentes y el color verde de las plantas presentan una característica esencial común. En todos ellos ocurren reacciones químicas que son inducidas o al menos aceleradas por la acción de la luz. La Fotoquímica constituye la rama de la Química que estudia las reacciones producidas en las moléculas cuando éstas absorben energía luminosa. Su estudio es fundamental, entre otras cosas, para comprender cómo se desarrollaron sobre la Tierra las condiciones ambientales que hicieron posible la aparición de la vida. Por otra parte, los avances que están teniendo lugar en este campo, en el sentido de aumentar el conocimiento sobre la naturaleza de los numerosos procesos biológicos que suceden en nuestro entorno, podrán servir para atender las necesidades futuras de energía y alimentos de una población creciente en número y calidad de vida.

Luz y Química Cuando se hace pasar la luz del Sol a través de un prisma, observamos que ésta se descompone en los colores del arco iris. El arco iris solamente constituye una pequeña parte —justamente la parte visible— del espectro de radiación electromagnética. Cada color corresponde a radiaciones de longitud de onda comprendidas en una estrecha banda. Más allá del extremo violeta del arco iris se encuentran longitudes de onda más cortas e invisibles, conocidas como *región del ultravioleta y de los rayos X*, mientras que en el extremo rojo, el espectro se prolonga hacia longitudes de onda más largas y también invisibles de la radiación infrarroja, de las microondas y de las ondas de radio.

Cuando se habla de reacciones fotoquímicas, se está presuponiendo que se trata de aquéllas desencadenadas por radiación ultravioleta y luz visible, ya que las radiaciones de gran longitud de onda, como los rayos infrarrojos o las ondas de radio, no transportan la suficiente energía como para producirlas, y las generadas por rayos X y gamma se estudian en la rama de Radioquímica o Química de las radiaciones.

La naturaleza de la luz no es, en absoluto, intuitiva y dio lugar a enconadas polémicas durante los últimos años del siglo XIX y primeros del XX. De origen electromagnético, la luz es una onda que transporta energía en forma de paquetes discretos, denominados *cuantos* o *fotones*, que carecen de carga eléctrica y de masa. La energía transportada por cada fotón depende evidentemente de la longitud de onda de la radiación de que se trate, de forma que, cuanto menor es aquélla, mayor es la energía asociada a cada fotón.

Las moléculas están formadas por átomos unidos entre sí mediante enlaces químicos. Los electrones, que pertenecen a los átomos constituyentes de la molécula, permanecen en general en su estado energético fundamental. Cuando un fotón

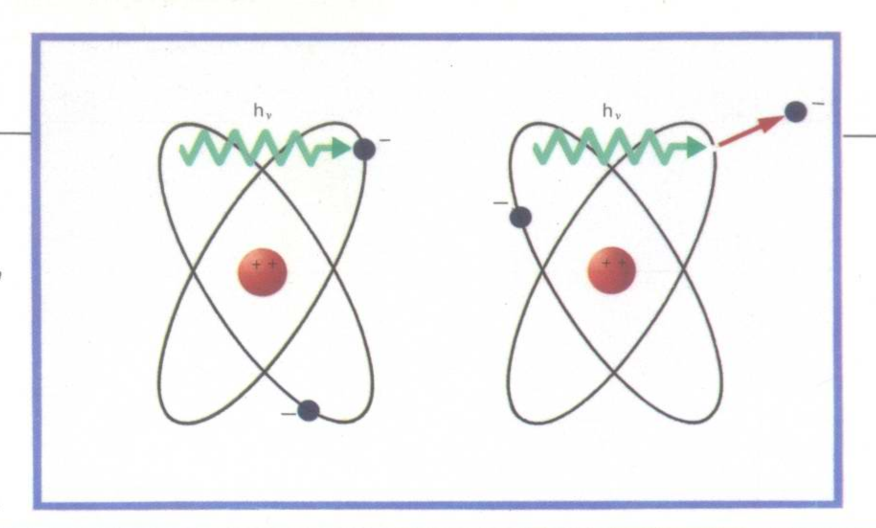
INFRARROJO

VISIBLE

ULTRAVIOLETA

En la página siguiente, la figura central representa la reacción de síntesis de ácido clorhídrico a partir de cloro e hidrógeno, activada por una radiación luminosa. En la primera línea se muestra el proceso fotoquímico de escisión de una molécula de cloro en sus átomos constituyentes. El átomo de cloro inicia una reacción en cadena que ya no es de naturaleza fotoquímica, puesto que ocurre en la oscuridad, y cuyo resultado final es la formación de ácido clorhídrico, liberándose asimismo un átomo de hidrógeno que reacciona con otro de cloro y de esta forma el proceso continúa.

Los electrones del átomo se encuentran ligados al núcleo por medio de una fuerza atractiva de tipo culombiano. Para ionizar un átomo, esto es, para extraerle un electrón, es necesario aportar una cierta cantidad de energía, conocida como *energía de ionización,* que es específica de cada átomo y representa la energía que hay que suministrar al electrón para liberarlo de la atracción del núcleo. A la derecha se representa la forma de realizar dicha ionización: un fotón ↓ dotado de la energía necesaria "colisiona" con un electrón y le cede toda su energía, obligándolo a salirse de su órbita.



Fotosíntesis clorofílica

Fotografía, Vista humana

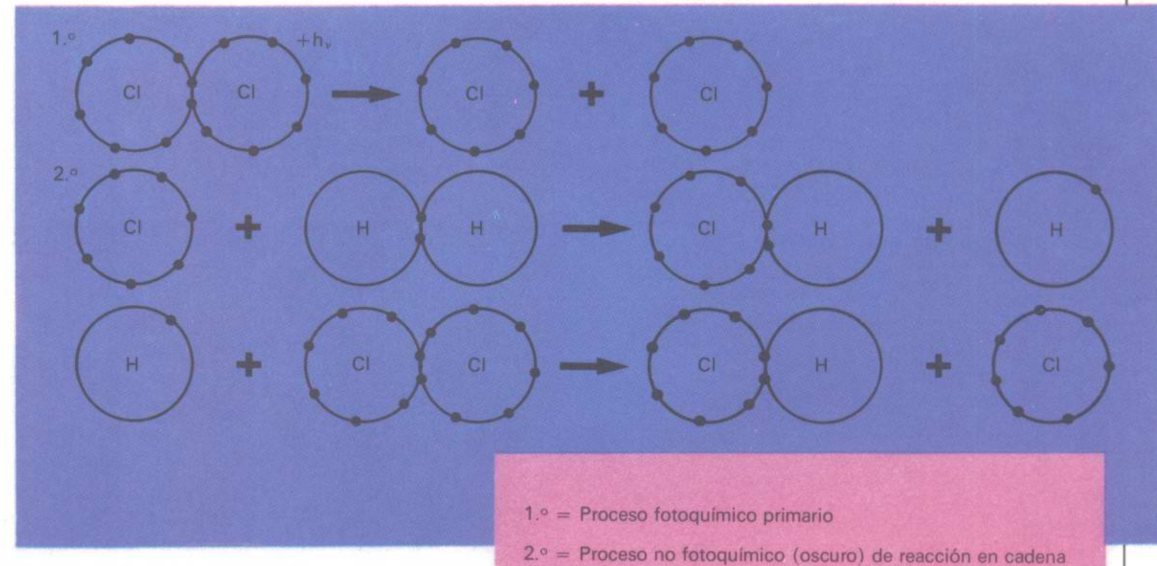
Fluorescencia, Fosforescencia, Luminiscencia

Bronceado, Síntesis de la vitamina D

Fotolisis de los halógenos (F_2, Cl_2, Br_2, I_2)

Reacciones de los aceites y otras sustancias orgánicas

Procesos bioquímicos naturales (autooxidación de las grasas, degradación de los pigmentos, etc.)



1.° = Proceso fotoquímico primario

2.° = Proceso no fotoquímico (oscuro) de reacción en cadena

es absorbido por un átomo, aporta su energía a un electrón, excitándolo y haciéndolo "saltar" a un nivel de energía más elevado. En este estado excitado se produce un cambio en las propiedades químicas de la molécula que puede ser permanente e irreversible, como por ejemplo la decoloración que experimentan las sustancias de color rojo bajo la acción de la luz solar. Otras veces, las propiedades químicas cambian sólo de forma temporal, como es el caso de los barnices fluorescentes, en los cuales las moléculas se excitan de forma pasajera hasta un estado energético inestable bajo la acción de una "luz oscura" ultravioleta. Posteriormente, los electrones vuelven hasta su estado energético fundamental, en el que se encontraban inicialmente, emitiendo un fotón cuya energía es igual o inferior a la energía emitida. Este fenómeno recibe el nombre de *fluorescencia*. Normalmente, la absorción y emisión de energía son casi simultáneas, aunque en algunas sustancias tiene lugar un retardo en la emisión, continuando ésta un cierto tiempo después de haber cesado la exposición a la luz. Este fenómeno se conoce como *fosforescencia* y sólo difiere del anterior en el orden de magnitud del tiempo de retardo que pasa de milésimas de segundo a varias horas.

Las reacciones fotoquímicas son de una gran importancia en la vida humana. Dos reacciones biológicas que nos resultan familiares son, una, el oscurecimiento de la piel debido al aumento en la producción del pigmento llamado *melanina* bajo la acción de la luz solar (que también estimula la formación de la vitamina D) y otra, el crecimiento de las plantas verdes y los cultivos, que, gracias a la fotosíntesis, producen el oxígeno que respiramos y los alimentos que ingerimos.

Como ejemplo de reacciones fotoquímicas de carácter no biológico de las cuales tenemos experiencia corriente, podemos citar la descomposición por la luz de los cristales de haluros de plata para liberar plata metálica, fenómeno en el que están basados los procesos fotográficos en blanco y negro y la acción de las células fotovoltaicas que transforman la energía de la luz solar en electricidad.

Fotoquímica láser Un nuevo campo de estudio ha surgido recientemente con la aplicación de la tecnología láser para producir y controlar las reacciones fotoquímicas. La luz que emerge de un láser tiene la particularidad de poder concentrar su energía en una única longitud de onda. Una reducción de este tipo resulta útil para efectuar la separación de distintos isótopos (formas de un mismo elemento que se diferencian sólo por su distinta masa atómica) de un mismo elemento. Mediante impulsos breves y veloces de luz láser, los químicos pueden tomar "instantáneas estroboscópicas" de las reacciones químicas para estudiar procesos extremadamente rápidos, que no podrían ser observados por otras técnicas.

Véase **Fluorescencia; Fosforescencia; Fotosíntesis; Ultravioleta, radiación**

Fotosíntesis

Cuando comemos un sabroso filete, estamos asimilando las proteínas que han formado los animales a partir de la materia vegetal. Las distintas especies de hierba, heno y avena que come el ganado captan y utilizan la energía radiante del Sol a través de un proceso llamado *fotosíntesis*, "fijándola" en la materia orgánica que sintetizan a partir del agua y del dióxido de carbono. Se puede afirmar que la fotosíntesis es la fuente de vida para la mayor parte de los seres vivos (a excepción de ciertos hongos y bacterias), ya que directa o indirectamente proporciona la energía indispensable para los distintos procesos vitales.

La importancia de la fotosíntesis se ve realzada si añadimos que a partir de este proceso se obtiene también el oxígeno que respiramos. Cada año, las plantas combinan, por medio de la fotosíntesis, 150.000 millones de toneladas de carbono (obtenido a partir del dióxido de carbono) con 25.000 millones de toneladas de hidrógeno (obtenido a partir del agua), y producen 400.000 millones de toneladas de oxígeno libre. Si no hubiera fotosíntesis, al cabo de unos pocos años se agotaría todo el oxígeno y nos asfixiaríamos a causa del dióxido de carbono.

Esta reacción química es la representación más sencilla de la fotosíntesis:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{luz} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

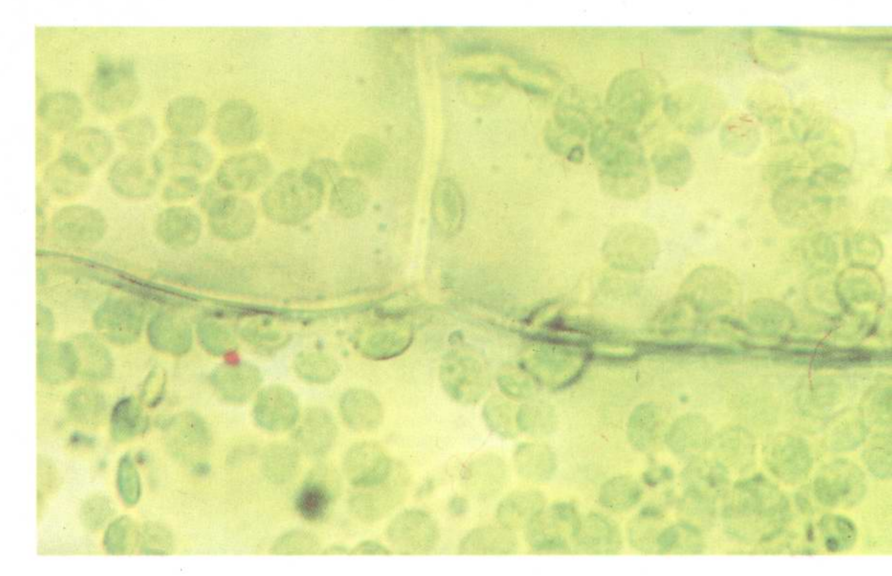
Según el lenguaje químico, esto quiere decir que el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) utilizan la energía lumínica para sintetizar glucosa ($C_6H_{12}O_6$) y oxígeno (O_2). El proceso de la fotosíntesis es bastante más complejo de lo que pudiera parecer con esta sencilla fórmula química. El camino para comprender la mecánica de este proceso ha sido muy largo; durante siglos el hombre se ha preguntado cómo crecían las plantas, y todavía hoy muchos de los pasajes de este mecanismo no están totalmente claros.

Los cloroplastos Hasta mediados del siglo XIX se desconocía el mecanismo fundamental de la fotosíntesis, es decir, que las plantas, para formar sus tejidos, "rompen" la molécula de agua, unen el hidrógeno al dióxido de carbono y liberan oxígeno. En 1865 el botánico alemán Julius von Sachs descubrió que no toda la planta estaba implicada en el proceso, sino sólo los corpúsculos de las células vegetales llamados *cloroplastos*. Por su forma, los cloroplastos recuerdan a las semillas de sandía; sus dimensiones son microscópicas (aproximadamente 0,00003 mm de longitud) y son auténticas fábricas químicas en las que se almacenan la energía y los compuestos químicos.

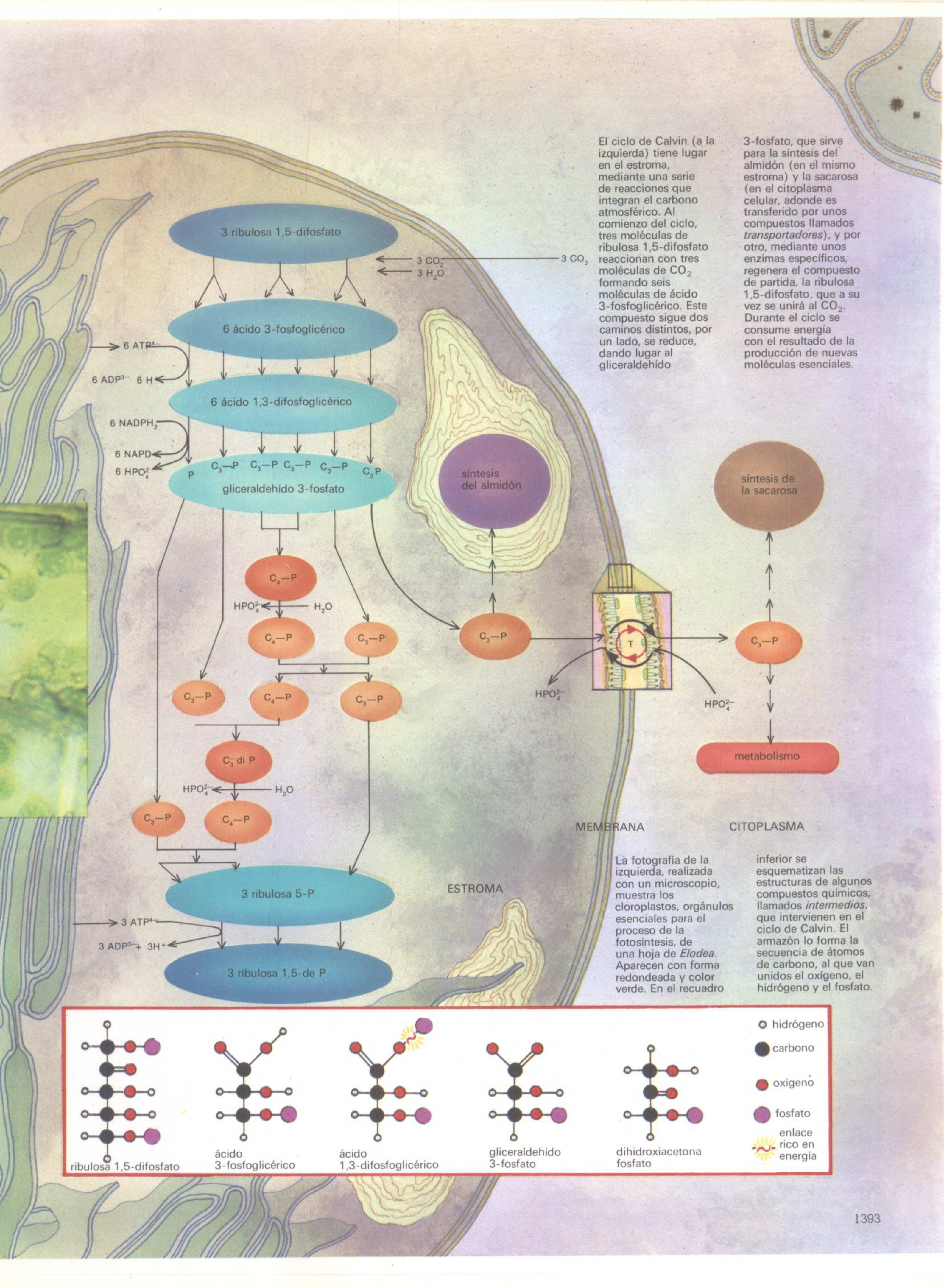
El número de cloroplastos que hay en una célula varía según el tipo de planta, pero la estructura es la misma para todos: en el interior están formados por finas paredes, llamadas *laminillas*, que delimitan los espacios llamados *estromas*. Entre una laminilla y el estroma tiene lugar la primera mitad del proceso. Es allí donde las moléculas de agua y de dióxido de carbono son escindidas mientras tiene lugar una intrincada "danza" circular, en la que los "bailarines" intercambian sus parejas para volver a encontrarse al final en el mismo sitio y con la pareja con la que habían comenzado.

El color de la planta, que presenta tonos de verde muy diferenciados, no es un cárácter accesorio del organismo vegetal. Otros componentes de los tejidos vegetales, como los citocromos mitocondriales de color rojo vivo, presentan una coloración "accidental", mientras que en el caso del verde nos encontramos ante una característica cromática relacionada directamente con la función trófica de todo el organismo. Y es que la coloración hace que se puedan absorber determinadas radiaciones del espectro solar, lo que constituye el primer paso para la conversión de la energía radiante en energía química. Mientras que en las plantas superiores los cloroplastos se localizan en el parénquima clorofílico (que se encuentra en todas las partes verdes de la planta) y presentan una notable homogeneidad estructural, en las plantas inferiores se observan numerosas variaciones. La forma de los cloroplastos, a menudo, es una particularidad de determinadas especies o grupos de especies. En ciertos casos está relacionada con la estructura molecular que permite el desencadenamiento del proceso fotosintético. Las cintas del alga *Spirogyra*, las estrellas de *Zygnaema* y la copa de *Chlamidomonas* constituyen algunos ejemplos de ello. En todos los casos hay variaciones cíclicas de forma y volumen de acuerdo con la intensísima actividad de los complejos ciclos bioquímicos que regulan la fotosíntesis. En las hojas de los guisantes se ha observado que los cloroplastos sometidos a la luz se aplastan y reducen su volumen a la cuarta parte del total. Se sabe que para que tenga lugar esta contracción se emplea la energía obtenida por medio del ATP (trifosfato de adenosina), que pone en actividad a ciertas proteínas contráctiles similares a la actina y la miosina de los músculos de los animales.

Las corrientes citoplasmáticas, que son activas en ciertas especies vegetales, constituyen otro de los aspectos macroscópicos de la actividad molecular que acompaña a la fotosíntesis. En las hojas de *Elodea* se ha observado que los cloroplastos giran a la deriva por toda la célula sin ocupar nunca una posición precisa. En otros casos, en cambio, los cloroplastos se adhieren a la pared celular directa o indirectamente, permaneciendo inmóviles, aunque continuamente reciben de la corriente citoplasmática los materiales que necesitan (como en *Chara*, *Nitella* y otras). De todas formas, los cloroplastos siempre tienen capacidad de orientarse hacia la luz para recibirla mejor, tanto girando sobre sí mismos como cambiando de forma. Estas variaciones también dependen de la calidad de las radiaciones lumínicas que los alcanzan. Para simplificar, se podría afirmar que los cloroplastos son los auténticos protagonistas del proceso fotosintético, y con un poco de fantasía podríamos decir que su papel consiste en atraer el Sol con complicados mecanismos: los *fotosistemas*. La energía lumínica que obtienen de esta forma les sirve para "catapultar" los electrones que han sustraído a las moléculas de agua, la cual se "rompe" (fotolisis del agua). Llegados a este punto, parte de la energía pasa a un sistema de bombeo y se deposita en moléculas fosforadas. Los electrones caen entonces en otro fotosistema para ser "lanzados" de nuevo. Una vez más, son utilizados por otro sistema, que aprovecha su poder reductor, junto con el ATP, para fabricar los glúcidos a partir del dióxido de carbono.



Las laminillas y la clorofila En la fotosíntesis hay dos fases: en una se utiliza la luz, y en otra no. La primera fase tiene lugar en la laminilla, y la segunda acontece en el estroma.



El ciclo de Calvin (a la izquierda) tiene lugar en el estroma, mediante una serie de reacciones que integran el carbono atmosférico. Al comienzo del ciclo, tres moléculas de ribulosa 1,5-difosfato reaccionan con tres moléculas de CO_2 formando seis moléculas de ácido 3-fosfoglicérico. Este compuesto sigue dos caminos distintos, por un lado, se reduce, dando lugar al gliceraldehído 3-fosfato, que sirve para la síntesis del almidón (en el mismo estroma) y la sacarosa (en el citoplasma celular, adonde es transferido por unos compuestos llamados *transportadores*), y por otro, mediante unos enzimas específicos, regenera el compuesto de partida, la ribulosa 1,5-difosfato, que a su vez se unirá al CO_2. Durante el ciclo se consume energía con el resultado de la producción de nuevas moléculas esenciales.

La fotografía de la izquierda, realizada con un microscopio, muestra los cloroplastos, orgánulos esenciales para el proceso de la fotosíntesis, de una hoja de *Elodea*. Aparecen con forma redondeada y color verde. En el recuadro inferior se esquematizan las estructuras de algunos compuestos químicos, llamados *intermedios*, que intervienen en el ciclo de Calvin. El armazón lo forma la secuencia de átomos de carbono, al que van unidos el oxígeno, el hidrógeno y el fosfato.

Cada laminilla está dividida en cuadrados de dimensiones microscópicas. Es precisamente en estas subunidades o centros de reacción donde se inicia la primera parte de la fotosíntesis. Cada una de ellas contiene de 250 a 300 moléculas de una sustancia verde, llamada *clorofila*, que es la única sustancia natural capaz de captar la energía de la luz; si no hubiera clorofila, no sería posible la vida sobre la Tierra. Después de muchas dificultades, en este último siglo se ha llegado a comprender cuál es la estructura de la clorofila, y se ha establecido que en los vegetales superiores existen dos tipos: *a* y *b*. Ambos tipos contienen carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y magnesio. El magnesio se encuentra en el centro de la molécula, rodeado de cuatro átomos de hidrógeno, cada uno de los cuales está ligado a numerosos grupos de hidrógeno y carbono. La clorofila sirve de catalizador en una serie de reacciones químicas, sin sufrir por ello ninguna transformación; captura la energía solar y da paso a importantes transformaciones que de otra forma no podrían producirse. La luz guía el resto de la reacción de fotosíntesis.

Además de la clorofila, los centros de reacción contienen otras sustancias, llamadas *cofactores*, que son capaces de añadir o quitar electrones. El agua, que llega a los centros de reacción desde las raíces de la planta, estimula a la clorofila que utiliza la energía solar almacenada y cataliza la reacción entre la molécula del cofactor y la molécula del agua. El cofactor toma electrones del hidrógeno (H) de la molécula de agua (H_2O), separándolo del oxígeno (O_2). Normalmente, los enlaces de la molécula de agua son difíciles de romper, y para ello se necesita una fuerte carga eléctrica o una temperatura muy alta; la clorofila, en cambio, logra romper la molécula de agua a la temperatura ambiente gracias a una pequeña cantidad de energía que obtiene de la luz. (Los átomos de oxígeno que se separan del hidrógeno nos proporcionan el elemento necesario para la respiración).

Los electrones liberados por las moléculas de agua van pasando de un cofactor a otro; en primer lugar al cofactor plastoquinona y luego al citocromo f, perdiendo la mayor parte de su energía. Esta energía es utilizada en la reacción entre el difosfato de adenosina (ADP) y el fosfato; añadiendo otra molécula de fosfato, el difosfato de adenosina se transforma en trifosfato de adenosina (ATP), un compuesto que tiene una importancia capital en la segunda parte del ciclo.

En esta segunda serie de reacciones, la clorofila sirve de catalizador y permite el paso de un electrón desde el citocromo a otro cofactor, la ferrodoxina, en cuya molécula hay hierro. El electrón y su energía tienen dos posibilidades: pasar a la molécula de nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADP), un compuesto muy importante que entrará en juego más adelante; o producir otra molécula de ADP. Durante estas transformaciones, la clorofila mantiene constante la cantidad de energía, dispuesta a comenzar de nuevo otra serie de reacciones.

El ciclo del carbono El proceso de fotosíntesis que acabamos de describir se refiere a las reacciones relacionadas con la luz. La energía captada por la clorofila sirve para romper las moléculas de agua, liberar el oxígeno, quitar electrones al hidrógeno, sintetizar ATP y terminar el montaje de la molécula de NADP. Los electrones sustraídos a los átomos de hidrógeno, junto con el ATP y el NADP sintetizados en las reacciones que tienen lugar en presencia de luz, son utilizados en la segunda parte de la fotosíntesis, en la que las reacciones del ciclo del carbono no necesitan la presencia de luz. En particular, el ATP posee en su estructura química la energía captada por la clorofila en la primera fase del proceso. En el ciclo del carbono que se describe aquí de una forma simplificada, algunos átomos de hidrógeno liberados de la molécula de agua se combinan con el dióxido de carbono (CO_2) del aire y forman compuestos con la fórmula $(CH_2O)_n$, genérica de los hidratos de carbono. A partir de la glucosa ($C_6H_12O_6$), en efecto, las plantas forman almidón y azúcares.

El ciclo comienza con la catalización de la ribulosa 1,5-difosfato, que incorpora dos moléculas de dióxido de carbono y se transforma en un compuesto inestable que da origen a dos moléculas de ácido 3-fosfoglicérico (PGA). Una molécula de PGA toma del ATP un grupo fosfato, y da lugar a ácido difosfoglicérico (DPGA) y ADP. El DPGA, junto con un fosfato, libera energía del ATP, la misma que ha recibido en la primera parte de la fotosíntesis.

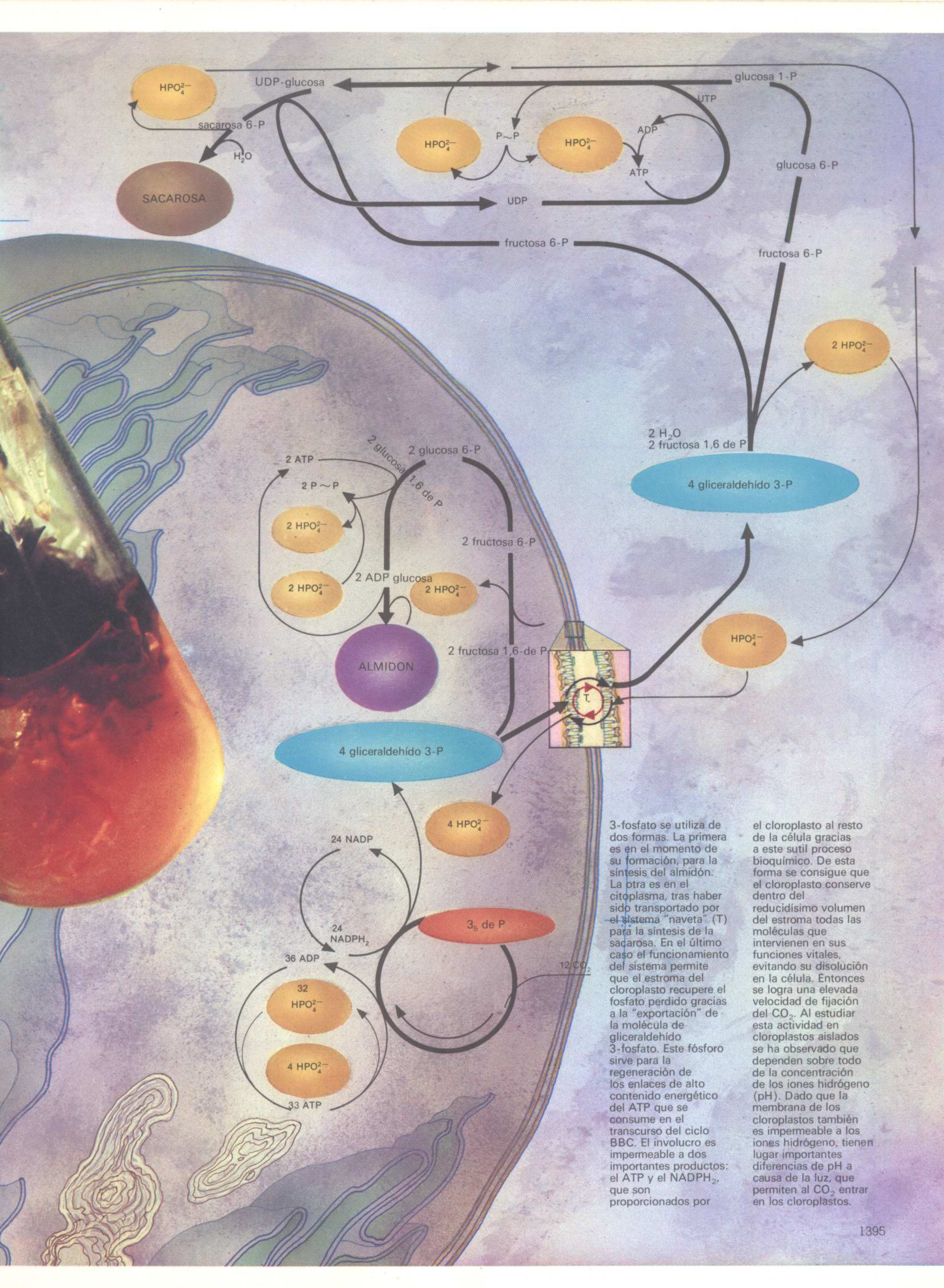
Después el DPGA se combina con algunos electrones liberados por los átomos de hidrógeno, y "roba" un electrón a la molécula de NADP (el mismo que anteriormente le había cedido). El resultado es una molécula de gliceraldehído 3-fosfato, un fosfato y una molécula de NADP a la que le falta un electrón. Estos dos últimos vuelven a la primera parte del ciclo para recombinarse respectivamente con el ADP y un electrón; a través de una serie de reacciones, pueden también volver a convertirse en ribulosa 1,5-difosfato y volver a comenzar el ciclo.

Esta descripción de la fotosíntesis, que es un fenómeno muy complejo, está hecha a grandes rasgos y trata de demostrar que la larga serie de complejas reacciones que tienen lugar en las células vegetales pone en movimiento, a nivel de todo el Planeta, otra serie igualmente compleja de ciclos vitales que van produciendo grandes cantidades de oxígeno puro; por ello el color verde de las plantas se puede considerar un símbolo de la vida.

Véase **Atomo; Biología molecular; Bioquímica; Clorofila; Molécula; Plantas**



Gran parte de los estudios acerca del proceso fotosintético se ha realizado en células aisladas de vegetales. En ciertos casos se emplean también cultivos *in vitro* de pequeñas plantas, como en el caso de esta *Elodea canadensis*, que ha crecido en una probeta en un adecuado medio sintético de cultivo a base de una gelatina de origen vegetal (agar) y sales minerales.
Las moléculas de gliceraldehído 3-fosfato se forman en un ciclo complejo descrito por Benson, Bassham y Calvin (BBC). Esta serie de reacciones tiene lugar dentro de los cloroplastos y está controlada por un translocador de los fosfatos que se encuentra en la membrana interior del revestimiento de los cloroplastos. El gliceraldehído



3-fosfato se utiliza de dos formas. La primera es en el momento de su formación, para la síntesis del almidón. La otra es en el citoplasma, tras haber sido transportado por el sistema "naveta" (T) para la síntesis de la sacarosa. En el último caso el funcionamiento del sistema permite que el estroma del cloroplasto recupere el fosfato perdido gracias a la "exportación" de la molécula de gliceraldehído 3-fosfato. Este fósforo sirve para la regeneración de los enlaces de alto contenido energético del ATP que se consume en el transcurso del ciclo BBC. El involucro es impermeable a dos importantes productos: el ATP y el $NADPH_2$, que son proporcionados por el cloroplasto al resto de la célula gracias a este sutil proceso bioquímico. De esta forma se consigue que el cloroplasto conserve dentro del reducidísimo volumen del estroma todas las moléculas que intervienen en sus funciones vitales, evitando su disolución en la célula. Entonces se logra una elevada velocidad de fijación del CO_2. Al estudiar esta actividad en cloroplastos aislados se ha observado que dependen sobre todo de la concentración de los iones hidrógeno (pH). Dado que la membrana de los cloroplastos también es impermeable a los iones hidrógeno, tienen lugar importantes diferencias de pH a causa de la luz, que permiten al CO_2 entrar en los cloroplastos.

Freón

En 1930 se pusieron a punto los primeros componentes de un grupo muy versátil de compuestos químicos similares entre sí, y comenzaron a ser comercializados con el nombre de *freón*. Desde entonces han sido empleados en numerosas aplicaciones industriales y domésticas, como la refrigeración, el acondicionamiento de aire, los aerosoles y los extintores.

Los dos compuestos de freón más difundidos son el F-11 y el F-12; son estructuras derivadas del metano al sustituir los átomos de hidrógeno por átomos de flúor y de cloro respectivamente (CCl_3F y CCl_2F_2).

Los gases freón se utilizan ampliamente en las operaciones de lavado y secado industriales. En el esquema de la derecha (página siguiente), secador con disolvente freón para separación del agua.

La química de los gases freón Los gases freón son unos compuestos químicos que se obtienen de la combinación de los halógenos con el metano o con el etano.

La molécula del metano está constituida por un átomo de carbono unido a cuatro átomos de hidrógeno. Por su parte, la molécula del etano está formada por dos átomos de carbono unidos a seis atómos de hidrógeno.



Uno de los problemas más debatidos entre los estudiosos de la atmósfera es la posible destrucción del ozono por parte de agentes químicos emitidos por los escapes de los aviones a reacción y por las industrias. Entre los agentes más señalados está el freón, que se descompone en diversas sustancias absorbiendo radiación solar. A su vez estas sustancias reaccionan finalmente con el ozono, transformándolo en oxígeno normal.

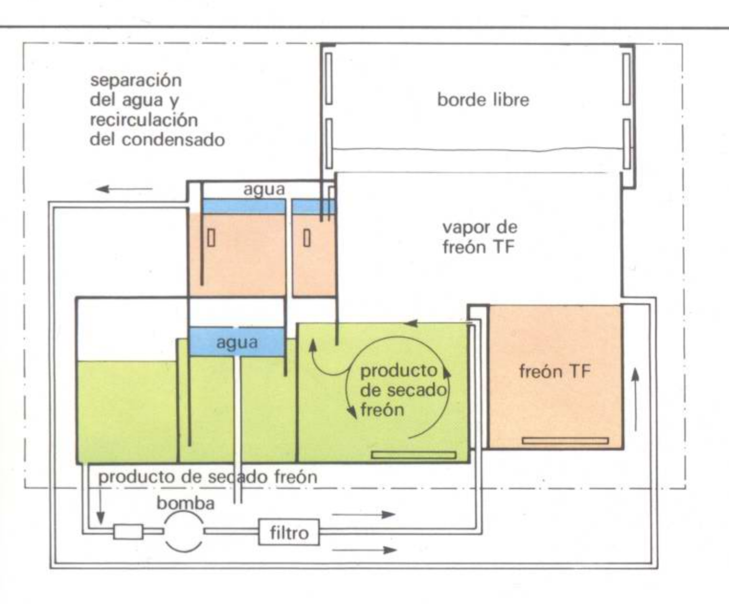
Los halógenos constituyen una familia de cinco elementos similares (flúor, cloro, bromo, yodo y astato) con características análogas, la más importante de las cuales es la destacada tendencia a reaccionar con la mayor parte de los otros elementos. El más ligero de los halógenos, el flúor, en estado libre es un tóxico, extremadamente dañino y con tendencia a reaccionar prácticamente con cualquier cosa con la que esté en contacto, desde la madera hasta el aire.

El flúor, por lo tanto, no se encuentra en estado libre en la Naturaleza y tiene que ser obtenido en el laboratorio a partir de compuestos que lo contengan. El cloro y el bromo, los dos elementos que siguen al flúor en el grupo de los halógenos de la tabla periódica, son, junto con el flúor, los únicos halógenos utilizados en la preparación de los gases freón. Reaccionan con las moléculas de metano y de etano sustituyendo en parte, o en su totalidad, a los átomos de hidrógeno de dichas moléculas.

Aplicaciones de los gases freón Las ventajas ofrecidas por los gases freón en muchas aplicaciones dependen de determinadas características físicas y químicas. Los gases freón son en general estables químicamente, es decir, no reaccionan con otras sustancias. Esta característica los hace muy aptos para ser empleados como propulsores para aerosoles, en los cuales pueden ser mezclados con otros componentes sin reaccionar con ellos.

El aire, por ejemplo, no se comporta así y no puede sustituir al freón, ya que contiene elementos —tales como el oxígeno— que causan el fenómeno de la herrumbre y favorecen el crecimiento de las bacterias.

Otra característica de los gases freón es su bajo punto de ebullición, por ello se utilizan ventajosamente para el acondicionamiento del aire (freón con punto de ebullición 23,8 °C) en los sectores industrial y comercial y como líquidos frigoríficos (freón con punto de ebullición -29,8 °C).



termostato
congelador
válvula
de expansión
retorno del
freón caliente
compresor
del freón
freón comprimido
caliente
refrigerador del
freón comprimido

A la derecha, cómo se utiliza el freón en el circuito de un frigorífico. Varios dispositivos mantienen el gas circulando en un ciclo de expansión y compresión, del que resulta la absorción de calor y el consiguiente frío.

En los sistemas de refrigeración se utilizan, en general, unos compresores para hacer circular el freón a través del ciclo de condensación y de evaporación. En el paso de la fase líquida a la gaseosa, el freón absorbe el calor del ambiente, produciendo de esta forma una refrigeración de las paredes dentro de las cuales circula. El freón es un fluido frigorífico muy eficaz porque pasa a través de estas fases a temperaturas muy bajas. Los gases freón se utilizan también como disolventes y en los extintores, así como de intermediarios de materiales plásticos y en la preparación de compuestos fluorados.

Problemas relacionados con el uso de los gases freón Después de muchos años utilizando los gases freón, los científicos empezaron a preguntarse si estos compuestos eran verdaderamente tan inofensivos como se había pensado hasta entonces. Parece ser que los gases freón utilizados como propulsores en la preparación de aerosoles, una vez libres en la atmósfera, llegan hasta las zonas más altas de la misma, donde se ponen en contacto con la capa de ozono —cuyas moléculas están formadas por tres átomos de oxígeno (O_3), a diferencia del oxígeno normal presente en la atmósfera, constituido por moléculas diatómicas (O_2)—. El ozono, más reactivo que el oxígeno normal, reacciona con el freón y tiende a destruirse.

El peligro radica en que la capa de ozono es la única barrera que protege la superficie de la Tierra contra la acción de los rayos ultravioleta del Sol. Si bien una cierta cantidad de energía radiante que proviene del Sol es esencial para la vida sobre la Tierra, muchos científicos opinan que la vida en nuestro planeta no hubiera comenzado si primeramente no se hubiese formado en la alta atmósfera la capa de ozono capaz de absorber las peligrosas radiaciones ultravioleta.

El freón es estable en las condiciones que normalmente se dan sobre la superficie de la Tierra, pero en la parte más alta de la atmósfera se descompone. Algunos de los productos que resultan de esta descomposición se combinan con las moléculas de ozono y forman al mismo tiempo moléculas normales de oxígeno. Los compuestos que se obtienen de estas interacciones no son por sí mismos peligrosos, pero ya no tienen la capacidad de absorber los rayos ultravioleta del Sol, función llevada a cabo por el ozono.

Se ha calculado que una pérdida del 5% de ozono tiene como efecto una pérdida correspondiente al 10% del poder absorbente de las radiaciones en esa capa.

Puesto que, desde que existe la vida, la capa de ozono ha tenido la función de absorber el 99% de los rayos ultravioleta dirigidos hacia la Tierra, dicha disminución en el poder de absorción podría tener efectos desastrosos.

Una disminución importante de la eficacia de la capa de ozono podría tener el efecto, entre otros, de aumentar los casos de cáncer de piel. Sabemos que cuando un gran ecosistema está sujeto a modificaciones importantes, los resultados que se derivan de ellas son a menudo imprevisibles y a veces catastróficos.

Véase **Acondicionador de aire; Aerosol; Atmósfera; Halógenos; Ozono**

*F-11	CCl_3F	Triclorofluormetano	Aerosol Técnicas frigoríficas Espumas poliuretánicas
*F-12	CCl_2F_2	Diclorodifluormetano	Aerosol Técnicas frigoríficas
F-22	$CHClF_2$	Monoclorodifluormetano	Técnicas frigoríficas
F-113	$C_2Cl_3F_3$	Triclorotrifluoretano	Disolventes para secadores industriales
F-114	$C_2Cl_2F_4$	Diclorotetrafluoretano	Disolventes para secadores industriales

(*) F-11 y F-12 están incluidos en la legislación restrictiva adoptada por algunos países que los han prohibido. Entre estos países están EE UU, Canadá y Suiza.

Fresadora

Las piezas mecánicas que componen las máquinas y los objetos que nos rodean cotidianamente se obtienen mediante una oportuna serie de procesos de elaboración. Concretamente, las piezas metálicas adquieren generalmente su forma definitiva después de un mecanizado que conlleva un arranque de viruta.

La pieza bruta de partida se puede obtener por fusión o bien puede ser un producto semielaborado obtenido, por ejemplo, por extrusión. Luego, para operar sobre ella, existe una gran cantidad de herramientas, entre las que la fresadora es seguramente la más ampliamente utilizada. La superficie mecanizada con la fresadora no se caracteriza por un grado de acabado elevadísimo; sin embargo, su utilización es ciertamente universal.

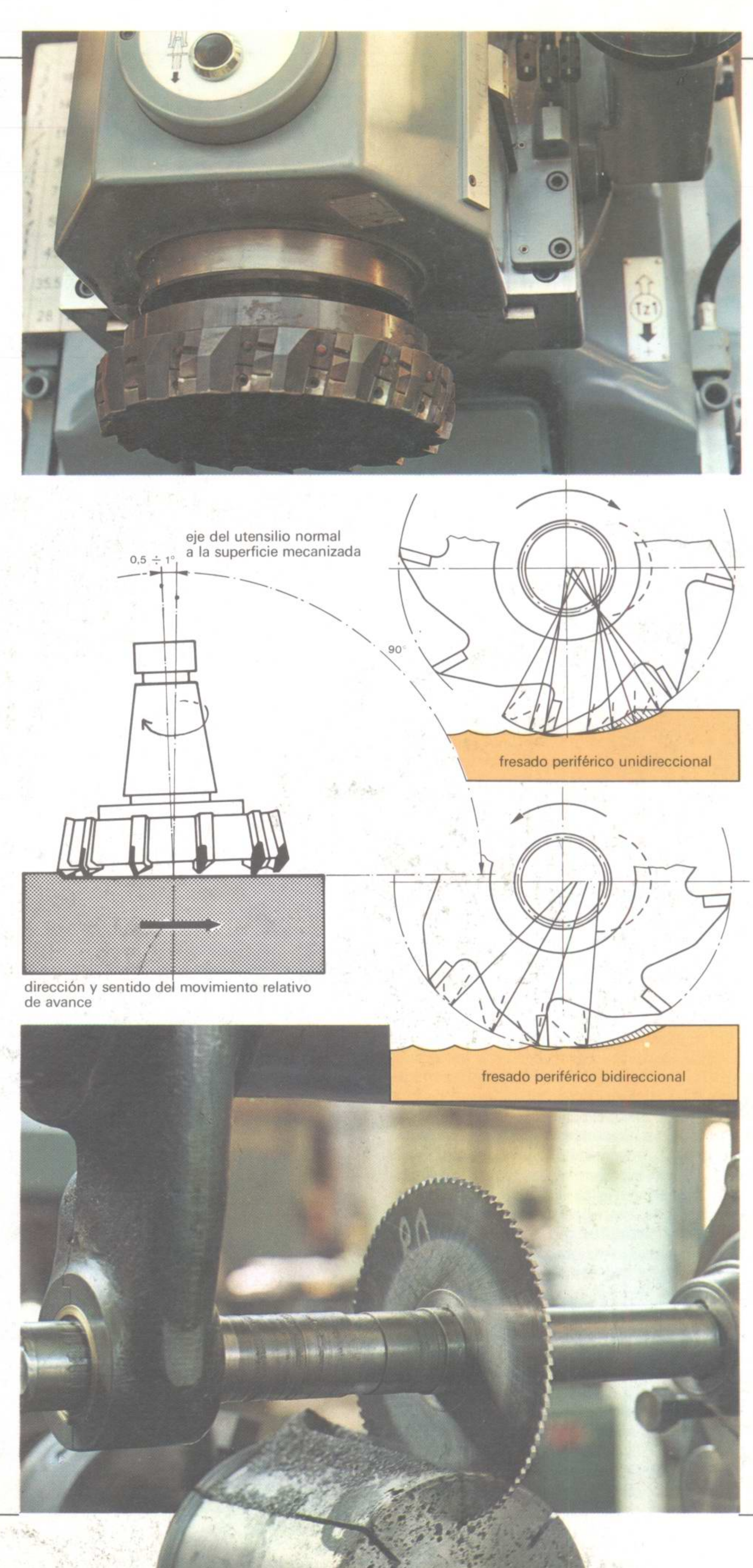
La fresa La fresa es una herramienta circular, de corte múltiple, usada en las máquinas fresadoras para el mecanizado de las piezas metálicas. En un principio se usaba para avellanar taladros y tenía forma de fresa, lo que le dio el nombre. En la práctica está constituida por un disco muy duro dotado de dientes cortantes, generalmente dispuestos a lo largo de la superficie periférica del disco. En realidad, es como si dispusiéramos de un escalpelo dotado con la propiedad de ocupar posiciones sucesivas con sólo girar alrededor de un eje que pasa por el extremo opuesto a la punta y es paralelo al filo de dicha punta.

Los dientes cortantes de la fresa pueden ser rectilíneos o helicoidales, y de perfil recto o formando un ángulo determinado. En algunas fresas, los dientes no están tallados en ella, sino superpuestos, en cuyo caso existen unas plaquetas de metal duro o de metalcerámica (cermet) que se fijan con aparatos especiales de sujeción sobre el disco de la fresa.

El número de dientes de una fresa depende de su diámetro, de la cantidad de viruta que debe arrancar, de la dureza del material y del tipo de fresa. A veces los dientes se disponen, además de en los bordes, en una de las superficies de base, mientras que en la otra superficie hay una espiga que sirve para fijar el útil a la máquina.

Las fresadoras Existen distintos tipos de máquinas fresadoras (verticales, con bancada fija, etc.), utilizadas según el trabajo específico que se desea realizar. No obstante, todos esos tipos no son sino variantes de la fresadora universal, que consta esencialmente de tres partes: un *pie* o soporte; el *cuerpo* de la máquina, donde se alojan los mecanismos y al que se fijan las herramientas de trabajo; y una *mesa* rectangular donde se colocan las piezas a las que se va a aplicar las operaciones de fresado.

En la operación de fresado la herramienta es la que se mueve, adquiriendo la velocidad de corte deseada por rotación, mientras que la pieza sólo posee un pequeño movimiento rectilíneo de avance.



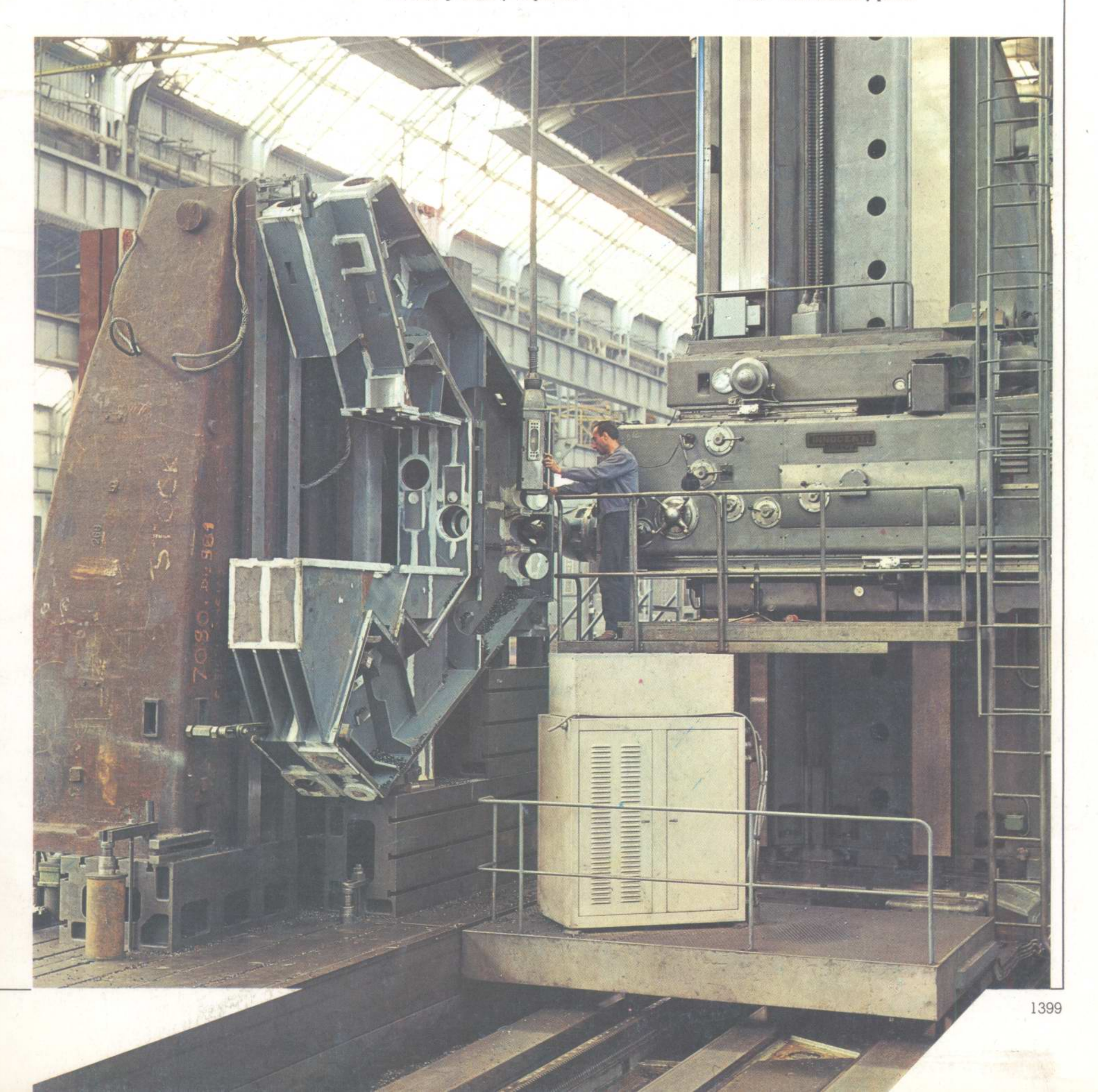
En la página anterior, arriba, una fresa de corona dentada. Los dientes están en la superficie exterior de una corona metálica sostenida por el eje de giro de la cabeza de la fresadora. Abajo, una fresa de disco que tiene forma de sierra circular. Está fabricada en acero durísimo y sus dientes están trabajados con gran precisión y con tolerancias del orden de la centésima de milímetro. Se monta sobre el eje horizontal de la fresadora. En esta página, una escariadora, es decir, un tipo especial de fresadora utilizado para mecanizar cavidades cilíndricas. En este caso se practican taladros cilíndricos en el interior de la pieza. Normalmente estas máquinas herramienta se manejan mediante control numérico por ordenador. En los diseños técnicos de la página anterior, a la izquierda, esquema de fresado frontal con inclinación del utensilio; a su lado, dos tipos de fresado periférico con avance de la fresa; arriba, mecanizado unidireccional, y abajo, bidireccional.

Las operaciones de fresado son muy variadas, pero existen algunas fundamentales:

- *Planeado.* Consiste en obtener una superficie plana y lisa, para lo que se utilizan las fresas madre o fresas de planear.
- *Ranurado.* Es el tallado de ranuras en las piezas mediante fresas con perfiles idénticos a la forma de la ranura que se quiere obtener; así se fabrican las colas de milano, chaveteros, etcétera.
- *Dentado.* Operación de tallado en engranajes: un aparato divisor va girando el engranaje una vez tallado un diente, para ponerlo en posición de tallar el siguiente.
- *Tallado de hélices.* Consiste en ranurar una hélice a lo largo de una pieza cilíndrica.
- *Tallado de levas.* Es la fabricación de hélices planas y espirales.
- *Escariado* o *madrilado.* Sirve para aumentar el diámetro de taladros previamente efectuados o dar un acabado de precisión al agujero.

El correcto mantenimiento de las máquinas fresadoras es muy importante e incluye diversos cuidados, especialmente la lubricación de la herramienta, para que su desgaste sea el mínimo posible, ya que el afilado de las fresas presenta grandes dificultades y requiere máquinas especiales. Existen varios tipos de lubricantes, llamados *taladrinas*, compuestos de aceites especiales anticorrosivos disueltos en agua.

Véase **Rectificación y pulido**



Frigorífico y congelador

El ser humano sabe desde épocas remotas que los alimentos se conservan mejor y más tiempo si se mantienen al frío. Algunos antiguos documentos chinos describen unas despensas refrigeradas que consistían en fosas revestidas de hierba, paja y ramas de árboles y que se llenaban de nieve. La primera nevera, más propiamente llamada *hielera*, fue inventada en el siglo XIX. Era prácticamente un contenedor aislado provisto de compartimentos separados, que se refrigeraba colocando bloques de hielo en uno de esos compartimentos.

Actualmente se utilizan diferentes métodos de refrigeración. En lugar del hielo existen medios mecánicos que refrigeran el interior del contenedor. Creando temperaturas por debajo de los 4 °C, los frigoríficos mantienen el alimento protegido contra bacterias y mohos durante días e incluso semanas. Los congeladores normalmente se mantienen a temperaturas que van de −23 a −7 °C y pueden conservar la frescura de los alimentos muchos meses o, en algunos casos, años. Además de conservar el alimento, los congeladores producen y almacenan hielo.

Bombas de calor Los medios mecánicos de refrigeración son un avance relativamente reciente, producto de la Termodinámica (ciencia que estudia el calor y el movimiento mecánico como formas intercambiables de energía). El desarrollo de la Termodinámica en el siglo XIX tuvo como resultado la creación de aparatos para convertir el calor en movimiento mecánico, y viceversa, con fines de aplicación práctica. La *máquina térmica* y la *bomba de calor* fueron los dos logros principales de esta técnica. Las máquinas térmicas (como, por ejemplo, las máquinas de combustión interna) son aparatos que transforman el calor en movimiento mecánico; mientras que las bombas de calor (como, por ejemplo, los frigoríficos) son aparatos que emplean métodos mecánicos para hacer pasar el calor de un lugar a otro. Las máquinas térmicas y las bombas de calor tienen principios similares; es así como muchos científicos que fueron pioneros del desarrollo de las máquinas de combustión interna trabajaron también en las técnicas de refrigeración.

Sistemas de refrigeración La mayor parte de los sistemas de refrigeración se basa en el principio de *enfriamiento por compresión*. Consiste en una fuerte compresión, seguida de expansión en una cámara a baja presión, de un líquido especial denominado *líquido frigorífico* o *refrigerante*, tal como amoniaco, etileno, freón, etcétera.

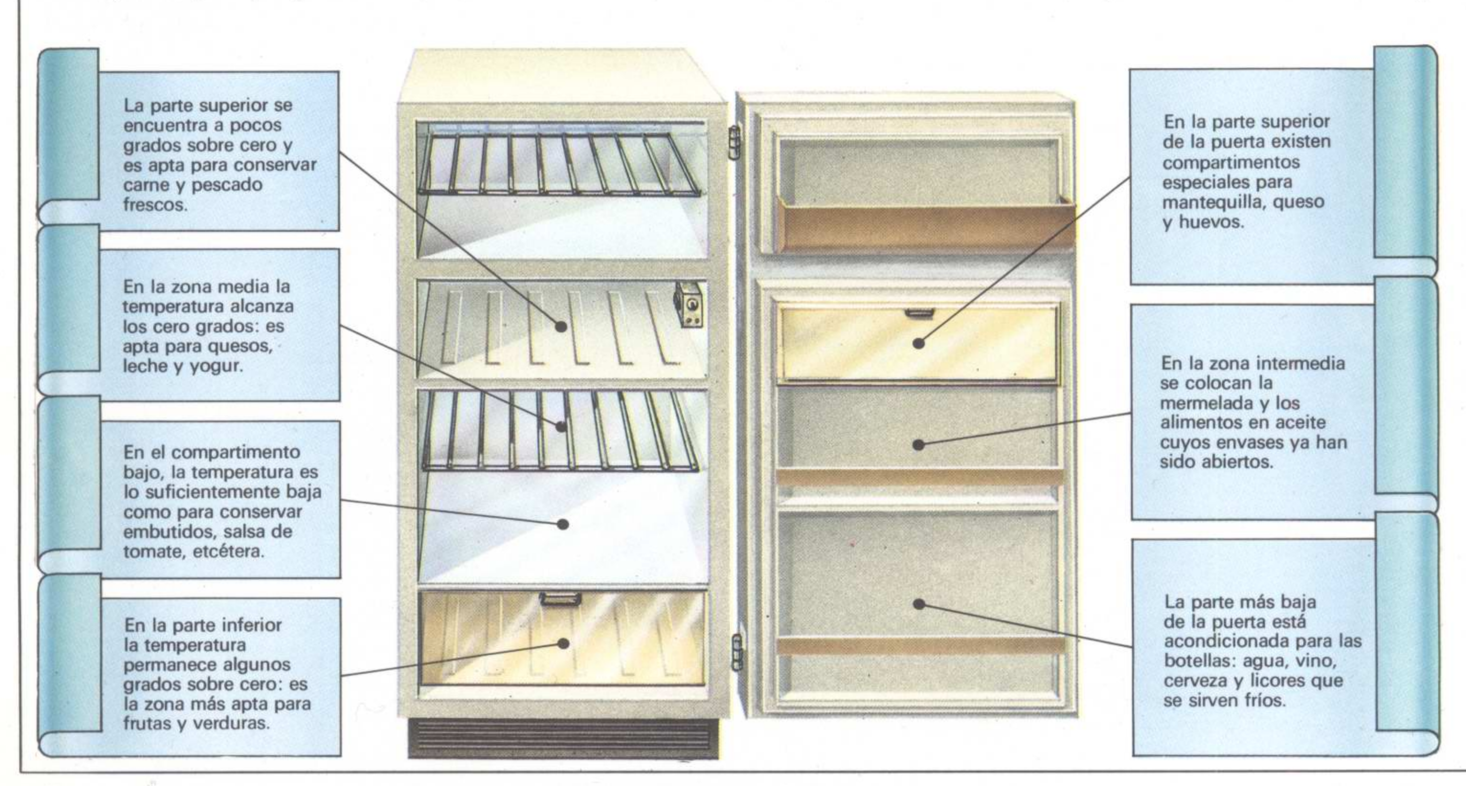
En el tipo de frigorífico de compresión, un motor acciona el compresor para que éste haga circular el fluido refrigerante. Para que el líquido refrigerante se evapore, necesita absorber calor, tomándolo del compartimento congelador, que de esta manera se enfría. Por razones económicas interesa cerrar el proceso recuperando el gas producido. Para ello se comprime hasta una presión tal que se vea obligado a pasar al estado líquido, por lo que libera calor. Este calor se disipa en el aire por los radiadores situados detrás y fuera del aparato frigorífico. El líquido regresa al compresor, tras haberse expansionado a baja presión al pasar por una válvula, y el proceso comienza de nuevo.

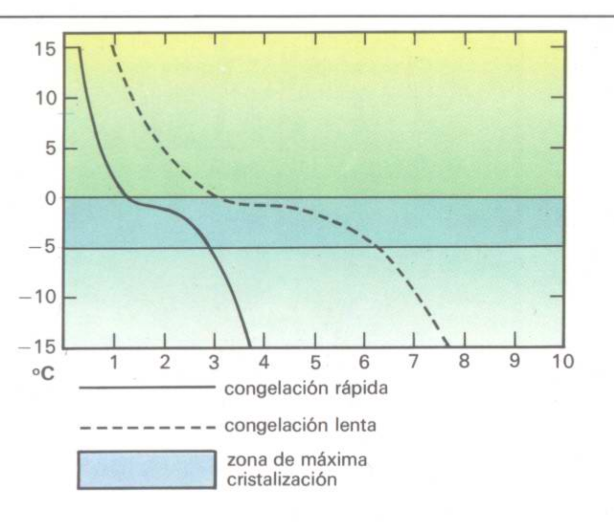
Los frigoríficos de compresión están muy difundidos comercialmente.

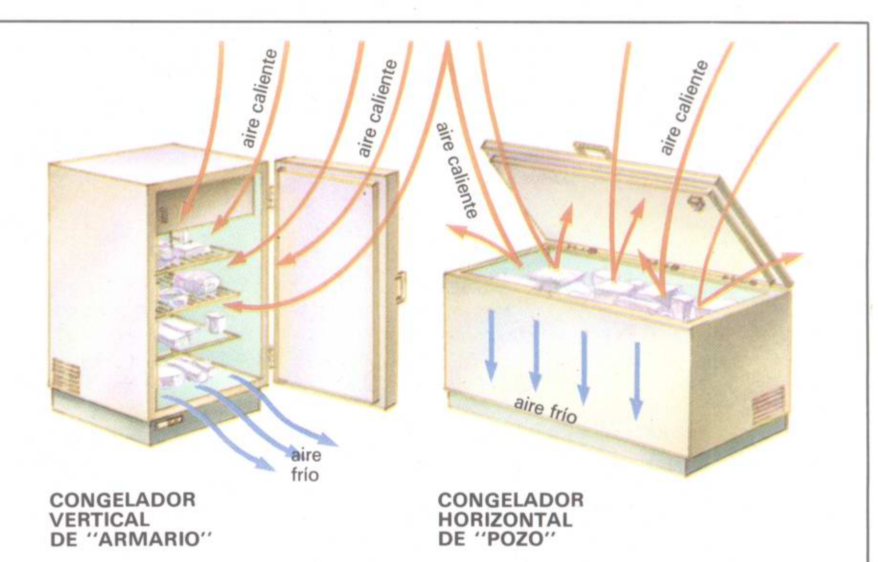
Un segundo tipo de refrigeración es el *enfriamiento por absorción*, que se basa

* ***	−30 °C
***	−18 °C/−20 °C
**	−10 °C/−12 °C
*	−6 °C

Los congeladores están clasificados según sus prestaciones: en los de cuatro estrellas se puede congelar gran cantidad de alimentos y conservarlos durante períodos largos; los de tres estrellas son aptos para congelar una cantidad menor de alimentos y conservarlos a medio plazo; con los congeladores de dos estrellas se garantiza únicamente la conservación por un período que oscila entre un mes y una semana. En los frigoríficos domésticos, la temperatura no se reparte uniformemente; existe, por tanto, una posición óptima para la conservación de cada alimento (dibujo inferior). En la página siguiente, abajo, el diagrama muestra la posibilidad de conservación de algunos alimentos a diversas temperaturas de almacenamiento (sobre y bajo cero). La congelación de cada producto tiene lugar en tres fases: el enfriamiento hasta cerca de cero; la congelación propiamente dicha, durante la cual se produce la formación de los cristales de hielo; y la sobrecongelación hasta la temperatura de conservación (página siguiente: curvas del diagrama superior). La duración de la segunda fase del proceso es importantísima para la calidad de la →







CONGELADOR VERTICAL DE "ARMARIO"

CONGELADOR HORIZONTAL DE "POZO"

→ congelación, pues cuanto más prolongada es, los cristales que se forman son más grandes y dañan la estructura celular del alimento, causando una pérdida de calidad en el momento de la descongelación. Los congeladores que se encuentran en el mercado pueden ser de dos tipos (sobre estas líneas): de armario (verticales) o de pozo (horizontales). El primer tipo permite un acceso fácil a los alimentos conservados, pero en cada apertura de la puerta se verifica una importante pérdida de frío debida a los flujos de aire que se forman, lo que produce oscilaciones de temperatura nada beneficiosas para los alimentos y un alto consumo de energía. Los congeladores de pozo, por su parte, reducen al mínimo las pérdidas de aire frío, pero presentan un difícil acceso a los productos conservados.

años: 20, 15, 10, 8, 6, 5, 4, 3, 2
meses: 8, 4, 3, 2
días: 20, 10, 5, 4, 3

productos secos, salados, envasados, etc.
pollo
ternera
pescado cerdo
peras
huevos
naranjas
manzanas
manzanas
pescado cerdo
plátanos
pollo

congelación
refrigeración

en los mismos principios antes mencionados, pero empleando un calefactor en lugar de un compresor. El amoniaco es el refrigerante, ya que la sola presurización causada por su expansión en un compartimento estanco, cuando es calentado, es suficiente para licuarlo. Este método es más económico y requiere muy pocas (o ninguna) partes móviles, pero no alcanza las temperaturas de congelación tan fácilmente.

La *refrigeración por chorro de vapor* se basa también en la condensación y evaporación de un refrigerante, que en este caso es el agua. Se usa siempre en aquellos casos en los cuales no son necesarias temperaturas muy por debajo de cero.

La *refrigeración termoeléctrica*, de desarrollo más reciente, utiliza el efecto termoeléctrico: cambio de temperatura que se verifica en los puntos de unión de ciertos tipos de metales cuando son recorridos por la energía eléctrica.

Tipos de frigoríficos Los frigoríficos modernos presentan una gran capacidad. Su interior está iluminado y va provisto de mandos para regular la temperatura. El congelador puede estar unido al resto de los compartimentos o formar un cuerpo independiente.

En su interior, el frigorífico puede estar equipado con recipientes regulables, descongeladores automáticos, compartimentos para el hielo, cestas para la verdura y la fruta y compartimentos especiales para mantequilla, queso y huevos.

La refrigeración es necesaria cada vez que se deban expedir o almacenar alimentos frescos o congelados, por lo que se han creado equipos especiales muy modernos que se acoplan perfectamente en camiones, trenes, aviones y que se instalan en las fábricas.

Véase **Refrigeración; Termodinámica**

Fruto y árboles frutales

Las manzanas, uvas, naranjas y peras son sólo algunos de los representantes más comunes de la infinita variedad de frutos que el hombre conoce y consume. El *fruto* no es más que el ovario de la flor de una planta, que se ha transformado tras la fecundación. Pero los tipos de frutos son variadísimos: son frutos las vainas de las leguminosas (alubias, guisantes), las panochas de maíz, los tomates y las rojas bayas del sauce.

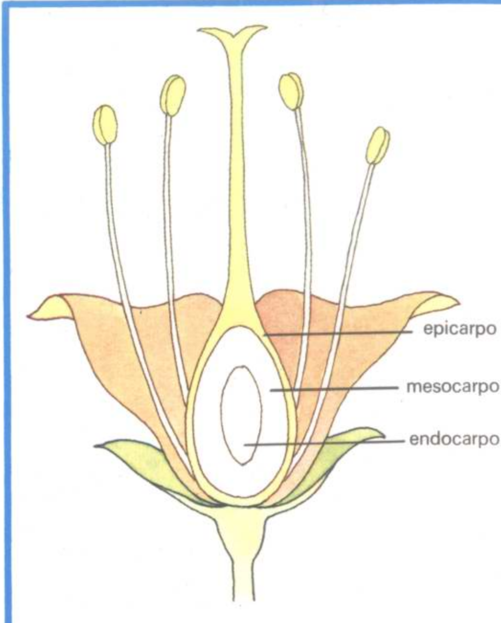
La uva es el fruto más cultivado en todo el mundo. En segundo lugar están las naranjas y los demás agrios, seguidos de los plátanos, las manzanas, las aceitunas, las peras, los melocotones, las ciruelas, las piñas tropicales y los dátiles.

Tipos de frutos Hay cuatro tipos principales de frutos. Los frutos simples, que pueden ser secos o carnosos, se desarrollan a partir de un solo ovario. Frutos secos son, por ejemplo, las legumbres (alubias, guisantes), las cápsulas (boca de dragón) y los lomentos (algarroba); mientras que entre los frutos pulpáceos simples se encuentran los melocotones, los plátanos y los tomates.

Las infrutescencias están formadas por un conjunto de frutos de semilla simple (pequeñas drupas), como las frambuesas y las moras. Los frutos múltiples, como la piña tropical, están formados por los tejidos originados al mismo tiempo por muchos ovarios.

Los falsos frutos, por último, son aquéllos que no se han formado a partir de los ovarios de la planta, sino de otras partes. Las manzanas (los pomos) pertenecen a este tipo: lo que nosotros comemos es en realidad un tejido del tallo que encierra el fruto (el corazón de la manzana).

El fruto y sus funciones El fruto de una planta tiene una función específica: la de proteger a la especie conservando las semillas hasta la maduración y participando también en su diseminación. Esta puede ocurrir de distintas formas, habiendo semillas adaptadas a vivir en condiciones especialmente difíciles. La nuez del coco, por ejemplo, es muy resistente y flota en el agua. Las corrientes fluviales pueden transportarla a lo largo de muchos kilómetros, hasta que llega a una zona favorable y germina. El viento sirve a menudo de



Si se hace un corte del ovario de una flor, se puede ver cómo está formado esencialmente por tres partes. El ovario es la porción de la flor que se transforma en fruto, pero cada una de sus partes tiene un destino diferente, y las distintas estructuras que forman se observan en gran variedad de frutos.

drupa (melocotón)

Epicarpo y mesocarpo constituyen la parte carnosa del melocotón, que es una drupa. El endocarpo se transforma en la parte leñosa interna, el hueso, que encierra y así protege a la semilla.

La baya del tomate es un fruto formado a partir de un ovario en el que todas las partes se han vuelto carnosas. Las semillas están repartidas por toda la pulpa.

baya (tomate)

nuez (avellana)

Abajo, el fruto del lirio, una cápsula que se forma a partir del ovario, que transforma sus tres partes en material seco. Al abrirse la cápsula, las semillas se desprenden.

cápsula (lirio)

aquenio (cilantro)

En la avellana común, el pericarpo es leñoso y puede estar recubierto por una envoltura. Se trata de un fruto seco indehiscente, ya que no se abre para dejar caer las semillas.

Arriba y a la derecha, un aquenio, fruto seco indehiscente: está formado por una sola membrana que envuelve a la semilla. Un ejemplo es el fruto del botón de oro.

agente de transporte; las aves, los insectos y los mamíferos participan también en la difusión de ciertas especies. Algunas semillas con la superficie viscosa se adhieren al pico de los pájaros, que las transportan sobre los árboles hasta que caen al suelo. Hay otras que tienen la superficie rugosa y poseen también unos minúsculos "ganchos" que se pegan al pelo o a las plumas de las aves. Algunas semillas son diseminadas por los animales que se alimentan de fruta y expulsan luego las semillas con las heces.

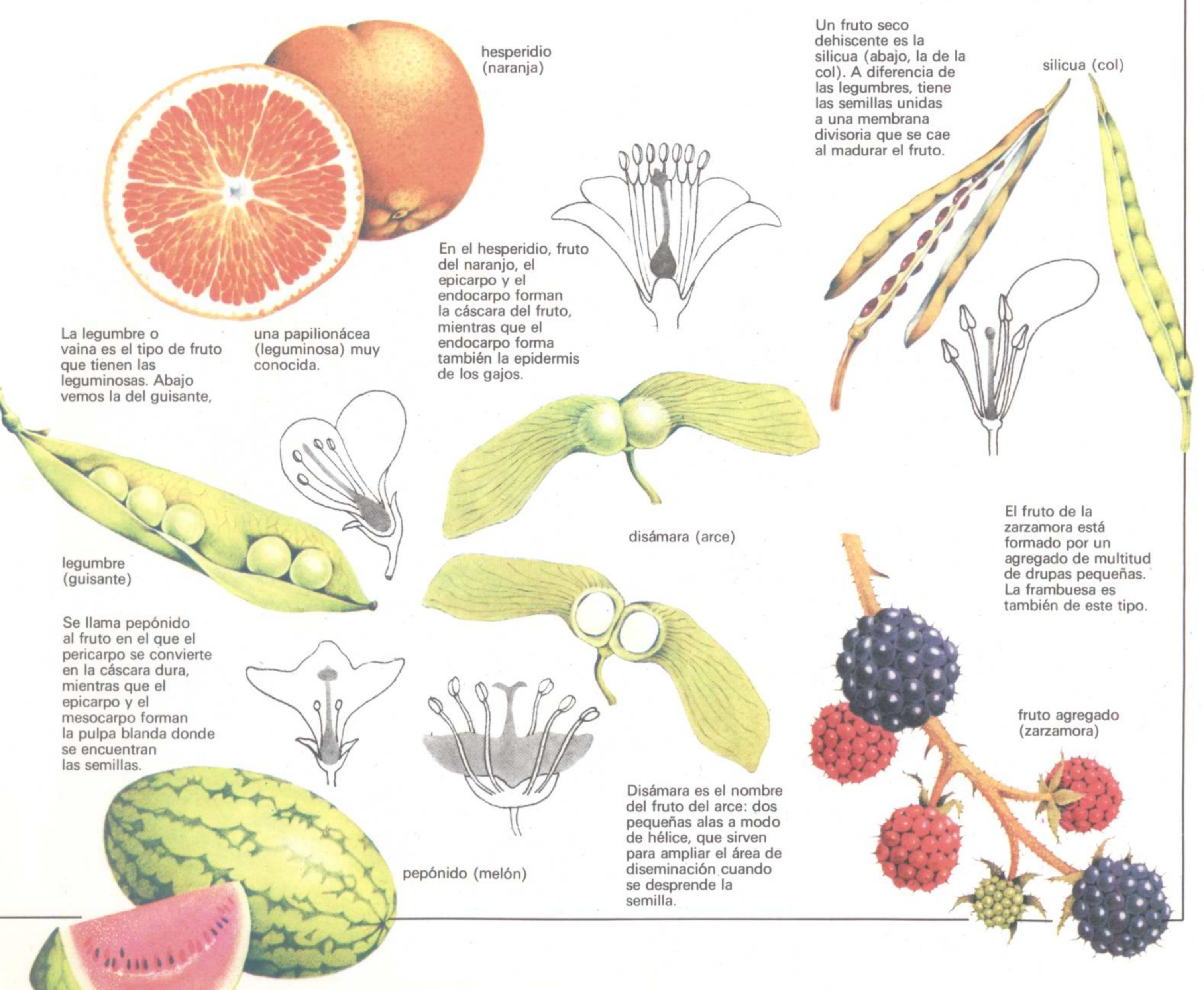
Arboles frutales El cultivo de los distintos tipos de arbustos y árboles frutales depende de dos factores principales: el clima y el suelo. En las zonas de latitudes medias, el clima es templado y apropiado para el cultivo de uvas, cerezas, bayas, manzanas, peras, grosellas, melocotones, nueces, etc. En las zonas subtropicales, o regiones que limitan con las tropicales, y en las áreas más cálidas de las zonas tropicales prosperan los cítricos, los caquis, los higos, etcétera.

Para obtener un rendimiento adecuado, los arbustos y árboles frutales deben plantarse guardando unas distancias óptimas que varían según las especies. Hay que tener en cuenta el tipo de floración y las necesidades de luz. Por poner algunos ejemplos, los manzanos deben guardar unos 12 metros de distancia entre sí; los ciruelos y melocotoneros, de 6 a 8 metros; los naranjos y limoneros, 9 metros; y los cerezos, no menos de 7 metros.

Manzano: el manzano, árbol frutal que se cultiva en la zona templada, está difundido por todo el mundo. En Europa, entre las variedades más conocidas citaremos la "Allington Pippin" y la "Cox's Orange". En el Estado de Washington, en EE UU, famoso por su producción de manzanas, las calidades más conocidas son la "delicia amarilla" y la "delicia roja". En la zona oriental de Estados Unidos predominan la "delicia roja" y la "McIntosh". Casi la cuarta parte de las manzanas cultivadas en dicho país se destina a elaboración de bebidas (zumo de manzana y sidra), mientras que el resto de la producción se comercializa fresca. En España, son sobre todo las regiones norteñas (como Lérida y Asturias) las que tienen producciones más importantes y cualificadas, siendo muy apreciada por su gran calidad la sidra de las pomaradas asturianas.

Melocotonero: también este fruto, cultivado en zonas templadas con largas estaciones cálidas e inviernos suaves con pocas heladas, se encuentra ampliamente difundido. Grandes cantidades de melocotones se preparan en conserva; las calidades "Paloro" y "Halford" (duraznos) y "Elberta" y "Golden Jubilee" (cuya carne se separa del hueso) son las más conocidas. Generalmente, el albaricoquero y el ciruelo necesitan las mismas condiciones ambientales que el melocotonero. En la península Ibérica se dan esas condiciones sobre todo en Murcia, Barcelona, Tarragona, Valencia y Zaragoza. En América del Sur, destaca especialmente la producción de Argentina.

Cerezo: tanto la cereza como la guinda se encuentran en las mismas zonas que la manzana. La costa occidental de Estados Unidos es la fuente principal de cerezas dulces; las guindas se cultivan sobre todo en los Estados de Nueva York, Wisconsin y en Michigan (EE UU). Las cerezas dulces pueden ser de las variedades "Bing" y "Royal Ann", que se emplean para mer-



Un fruto seco dehiscente es la silicua (abajo, la de la col). A diferencia de las legumbres, tiene las semillas unidas a una membrana divisoria que se cae al madurar el fruto.

En el hesperidio, fruto del naranjo, el epicarpo y el endocarpo forman la cáscara del fruto, mientras que el endocarpo forma también la epidermis de los gajos.

La legumbre o vaina es el tipo de fruto que tienen las leguminosas. Abajo vemos la del guisante, una papilionácea (leguminosa) muy conocida.

El fruto de la zarzamora está formado por un agregado de multitud de drupas pequeñas. La frambuesa es también de este tipo.

Se llama pepónido al fruto en el que el pericarpo se convierte en la cáscara dura, mientras que el epicarpo y el mesocarpo forman la pulpa blanda donde se encuentran las semillas.

Disámara es el nombre del fruto del arce: dos pequeñas alas a modo de hélice, que sirven para ampliar el área de diseminación cuando se desprende la semilla.



se producen en grandes cantidades en todas las zonas tropicales y subtropicales, especialmente las naranjas. Los limones y las cidras requieren temperaturas algo más altas que las naranjas. La España oriental y meridional, Italia, Grecia e Israel tienen las producciones de agrios más elevadas de la cuenca mediterránea.

Plátano: el plátano, alimento fundamental en las zonas tropicales, es conocido y apreciado en todo el mundo, debido a su sabor apetitoso y a su alto valor nutritivo. Efectivamente, contiene cerca de un 22% de hidratos de carbono (sobre todo azúcar) y gran cantidad de vitaminas. Por lo general, el plátano se consume crudo. Crece formando racimos en una planta (platanera), cuyo tronco puede llegar a medir hasta 9 metros de altura. Las variedades más corrientes son: "Gros Michel", "Cavendish" y "Mysore". Los plátanos se cultivan sobre todo en América del Sur y Central, Africa y Asia.

Vid: la uva no sólo es una fruta deliciosa sino que se emplea también en la elaboración del vino y, al igual que muchas otras frutas, en la producción de zumos y gelatinas. De los miles de variedades de uva, casi la totalidad se emplea para la fabricación de vino, si bien sólo algunas producen vinos de alta calidad. La uva pasa se obtiene sólo a partir de algunas



Arriba, naranjal con los frutos maduros. Los cítricos se prestan a ser cultivados en lugares de clima templado, y a menudo seco. Hay que elegir un suelo adecuado en el que tiene que haber una capa de agua no muy profunda, que suministre a las raíces la humedad necesaria; en caso contrario, se hace necesario el riego. El mismo problema plantea el cultivo del resto de los agrios (limones, pomelos, limas, mandarinas y bergamotos). A la derecha, un viñedo, cultivo muy difundido por todo el mundo. La vid proporciona un fruto de mesa excelente, y la mayoría de las especies sirven para la elaboración de vino y de destilados de alta graduación alcohólica.

meladas y cerezas al marrasquino. Las guindas ("Montmorency") se emplean sobre todo en repostería. El cerezo crece bien en climas frescos. En España abunda en el Alto Aragón, Extremadura, Lérida, Navarra, Asturias y Galicia.

Peral: el peral, que requiere un clima más suave que el manzano, se cultiva en Europa y Norteamérica, sobre todo en California. Las variedades "Bartlett" y "Bosc" son las más conocidas. La pera es muy vulnerable a los ataques bacterianos y su producción disminuye en las zonas húmedas, donde los microorganismos están muy difundidos.

Cítricos: llamados también *agrios*, fueron traídos de Asia Sudoriental e introducidos en la Europa Mediterránea por los mercaderes antiguos; los principales cítricos (limones, cidras, naranjas y pomelos)

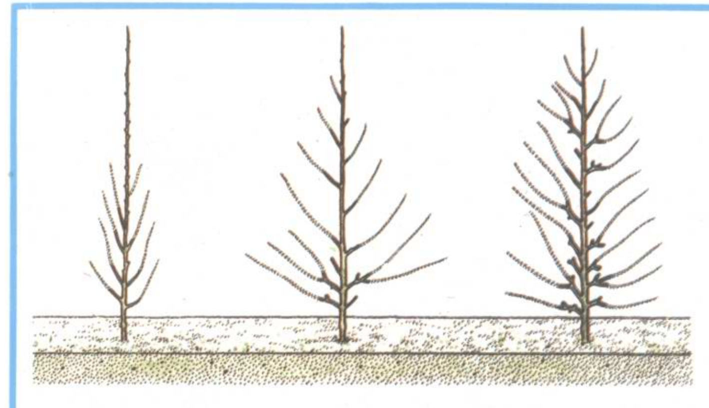
variedades, como la "Thompson", sin semillas, blanda y sabrosa; la "Moscatel", y la "Uva Negra de Corinto".

Técnicas modernas En los últimos decenios se ha asistido a notables cambios en la producción de fruta y de sus derivados. Sobre todo, se han introducido y difundido nuevas variedades.

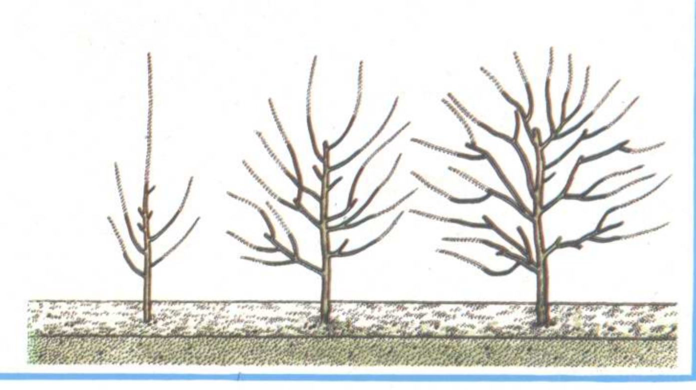
También ha adquirido gran importancia el cultivo de árboles enanos. Se toman muestras o patrones de injerto —usados en el proceso de detención del crecimiento— de árboles muy pequeños; cada planta que crece a partir de esos patrones es idéntica a ellos.

El injerto de variedades sobre un patrón enano produce frutos del tipo deseado, fáciles de recolectar. Los perales, por ejemplo, se injertan sobre patrones de membrillo para detener el crecimiento. Esto impide automáticamente su natural crecimiento, ya que el árbol produce frutos en las ramas más bajas. También se pueden empequeñecer los árboles limitando el espacio de las raíces, es decir, cultivándolos en un área limitada, como una maceta.

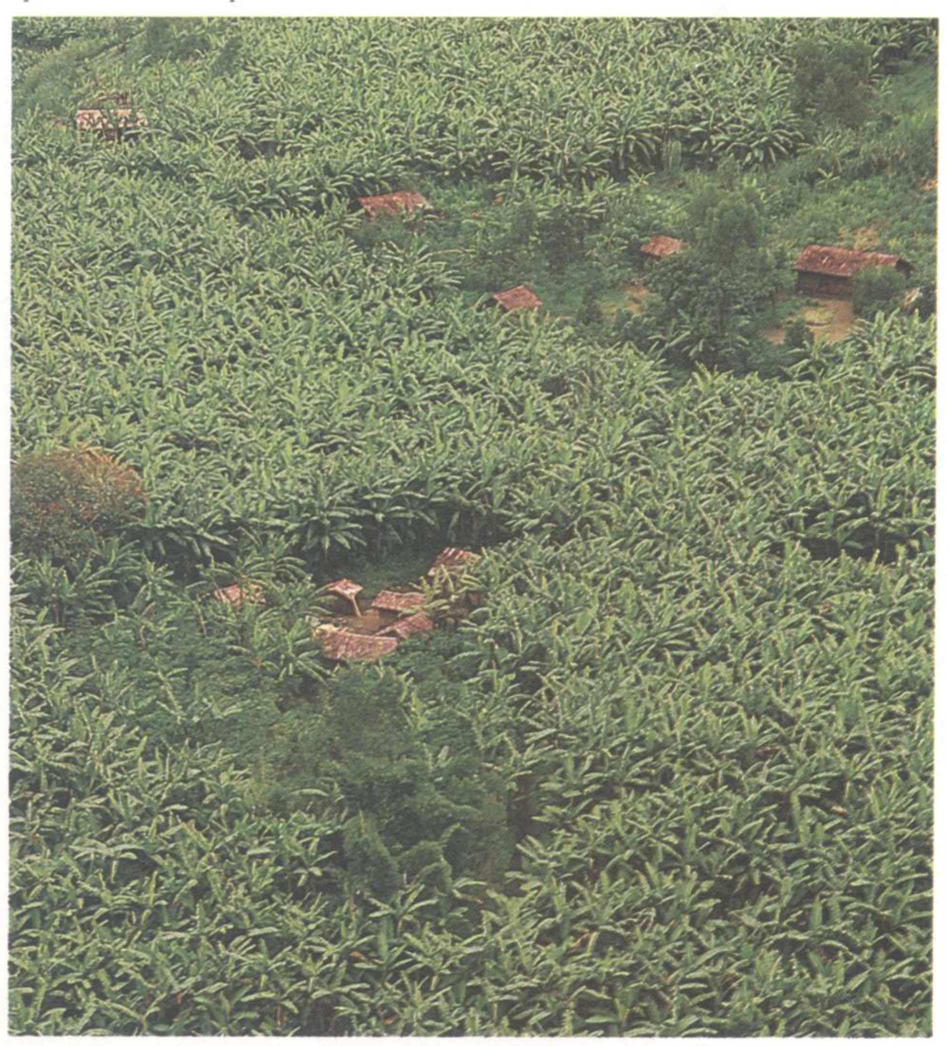
La recolección y el transporte de la fruta resultan hoy día más sencillos, seguros y rentables gracias a las mejoras en los procedimientos empleados.



Manzanos y perales: así es como se cultivan en cordón vertical (y en hileras). Se trata del sistema de poda que les da una forma alargada y fina. En el dibujo no aparecen las hojas para que se aprecie el estilo de la poda. Para conseguir esta forma, es preciso podar los árboles tres años seguidos. Las ramas están dibujadas con trazo continuo, y la parte podada lo está con trazos discontinuos.



A la derecha, cultivo de manzanos y perales en pirámide enana. El trazo discontinuo indica la parte de la rama que se poda cada año; el corte se realiza al final del invierno, cuidando de no causar heridas que serían una vía de acceso para parásitos de muchas especies. De izquierda a derecha, vemos los cortes que se realizan cada año.



A la izquierda, ejemplo de cultivo de frutales en la zona tropical: un platanal. En las zonas cálidas tropicales se puede conseguir que se desarrollen bien no sólo las plantas frutales típicas, como el plátano, la piña tropical, el mango, sino también otras plantas que se han aclimatado, procedentes de las zonas templadas, como los agrios (sobre todo las naranjas). En Brasil se están plantando extensos naranjales, que crecen con facilidad y dan una elevada producción, destinada en su mayor parte a las industrias que elaboran zumos. Pero estos cultivos causan a veces cierta inestabilidad en los suelos deforestados.

Las nueces se sacuden y recogen por medio de una máquina; también algunos tipos de albaricoques, cerezas y bayas se recogen de esta manera. Ciertos frutos se pueden recolectar antes de que estén maduros, en cuyo caso se almacenan en cámaras frigoríficas. Las manzanas y los limones mantienen su frescura y sabor durante meses.

Hay otras frutas, como las fresas, que tienen que consumirse en pocos días, por lo que la recolección, transporte, empaquetado y venta se realiza en un corto espacio de tiempo. En la actualidad, se ha mejorado mucho la forma de empaquetar la fruta, y también se han modernizado los sistemas de refrigeración, maduración precoz y transporte. Hay trenes, camiones e incluso barcos pensados especialmente para transportar mercancías perecederas con eficacia y seguridad: de esta forma, cargamentos de fruta fresca y en conserva llegan a zonas muy apartadas de sus lugares de cultivo.

Véase **Alimentos, aditivos y conservantes; Flor; Injerto; Semilla; Vid**

Fuegos artificiales

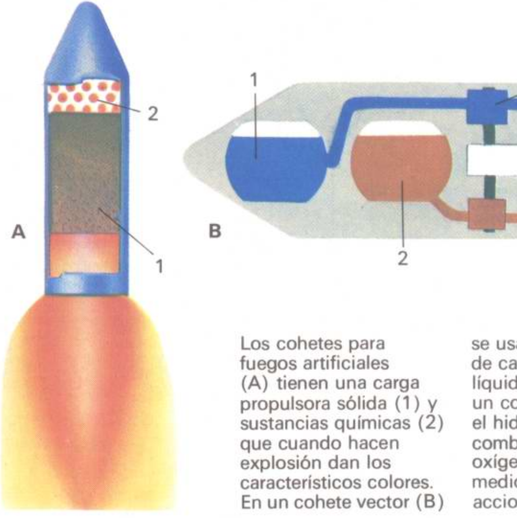
Los fuegos artificiales (o de artificio) comenzaron probablemente como consecuencia del descubrimiento de la pólvora, en China, hace unos 2.000 años. Durante la Edad Media se difundieron por Europa, utilizándose como armamento. Sin embargo, hasta principios del siglo XVI no empezaron a evolucionar como diversión, convirtiéndose a partir de entonces en característica habitual de los festejos públicos. Hoy día, siguen siendo un espectáculo común de las grandes celebraciones. En España el uso de los fuegos de artificio se encuentra muy difundido, sobre todo en la parte oriental de la Península, particularmente en la región valenciana, donde existe una gran tradición pirotécnica puesta de manifiesto en espectaculares y coloristas demostraciones que tienen lugar en todas sus fiestas populares.

Los asombrosos efectos especiales de los fuegos artificiales se obtienen al arder mezclas de sustancias químicas determinadas y metales. Para que esta combustión tenga lugar, el combustible debe combinarse químicamente con el oxígeno, provocando una oxidación. En los fuegos artificiales, así como en los cohetes de señales para petición de auxilio, el oxígeno liberado por la descomposición térmica de los cloratos y de los nitratos oxida los combustibles compuestos de azufre, carbón vegetal, sulfuro de antimonio o metales en polvo. Cambiando un ingrediente de la carga del fuego de artificio —concretamente el componente metálico—, se producen en la combustión diferentes colores. La composición de series de explosiones rojas, blancas y azules contenidas en un sólo cohete pone en evidencia tal proceso en acción.

El primer paso en la fabricación de un fuego de artificio de explosión múltiple es la composición de la carga que producirá los destellos y las llamas coloreadas. Los componentes químicos esenciales son el clorato potásico, que proporciona el oxígeno para la combustión e intensifica el color; la goma roja, un combustible que controla la velocidad de combustión de la mezcla; y la dextrina, un elemento aglutinante.

El ingrediente final variable es lo que determina el color. Si se quema carbonato de estroncio con esta mezcla, se produce una llama roja; el óxido negro de cobre produce una llama azul-verdosa; la llama blanca plateada se obtiene, en cambio, por medio de la adición a la mezcla de diminutas virutas de aluminio.

Para producir imágenes con forma estrellada de colores diversos, se añade agua a estos compuestos en polvo a fin de obtener una pasta a la que se da forma de pan de molde; se cortan rebanadas que después se trocean en pequeños cubos de 1-2 centímetros de lado. Estos cubos se recubren con pólvora negra (pólvora de disparo y una mezcla explosiva de azufre, salitre y carbón) y dextrina, una pasta cuya finalidad es mantener juntos a los cubitos. Para cada color se emplea un empastado diferente.



Los cohetes para fuegos artificiales (A) tienen una carga propulsora sólida (1) y sustancias químicas (2) que cuando hacen explosión dan los característicos colores. En un cohete vector (B) se usa un sistema de carga de propulsión líquida constituido por un combustible, como el hidrógeno, (1) y un comburente, como oxígeno (2), que, por medio de bombas (3) accionadas por una turbina (4), son enviados a la cámara de combustión (5) donde se combinan. El paso rápido de las cargas propulsoras del estado líquido al gaseoso proporciona el impulso al cohete.

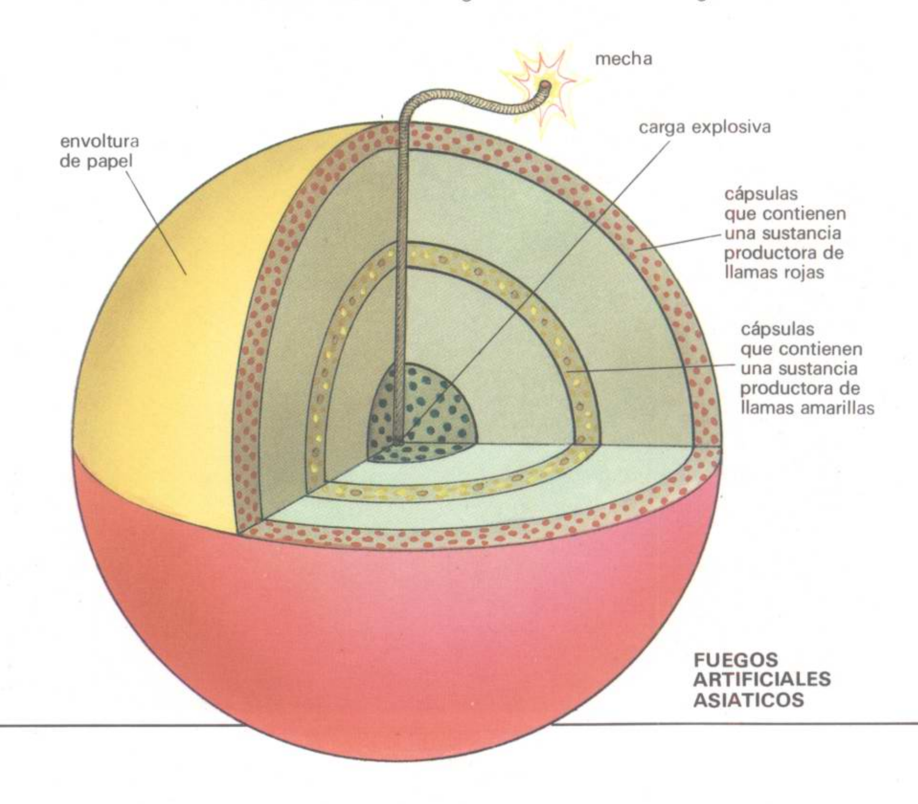
Las nuevas orientaciones en el campo de la pirotecnia se dirigen particularmente a resolver los problemas de seguridad que plantea el manejo de los fuegos artificiales. Sin embargo, aun con las oportunas modificaciones introducidas, debidas a motivos de seguridad y a la creciente complejidad de los fuegos artificiales con el fin de aumentar su espectacularidad, la estructura de los fuegos de artificio sigue siendo en esencia la misma.

Generalmente se dividen en dos categorías: los *europeos,* constituidos por una serie de compartimentos cilíndricos que hacen explosión sucesivamente, y los *orientales,* de forma esférica, que explosionan hacia su interior y son menos ruidosos.

Envoltura del cohete Para hacer la envoltura del cohete que contiene las cargas, se cubren éstas con varias capas de papel y después se introducen en un cartucho de cartón. En el centro de los cubos que deben proporcionar la composición coloreada, se coloca una carga o cebo de pólvora negra, de forma que, cuando haga explosión, incendie a los cubitos y los expulse al exterior para hacer el efecto de estrella.

En el caso de una carga aérea de explosiones múltiples, roja, blanca y azul, habrá tres explosiones consecutivas de destellos y llama coloreados.

El cohete se lanza con un mortero, tubo cilíndrico abierto por un extremo y apuntado hacia el cielo. Se coloca la carga de lanzamiento de pólvora negra en el fondo del tubo, del mismo modo que se pone una carga de pólvora de disparo en el fondo de un cartucho. Una mecha que va desde la parte superior al fondo de la envoltura se enciende simultáneamente a un mecanismo de tiempos situado en la envoltura. La mecha se consume a todo lo largo de la envoltura y enciende la carga de lanzamiento. La liberación repentina de una gran cantidad de energía en forma de



gas comprimido dispara el cohete al aire. Durante este intervalo, la primera mecha a tiempos se quema tres segundos antes de encender la primera carga explosiva, produciendo una explosión de llama roja en el aire. Este estadio se llama *primera explosión*. Aproximadamente un segundo y medio después, la *segunda explosión* libera una lluvia de destellos blancos, y pasado otro segundo y medio, el resto del cohete hace explosión con una llama azul.

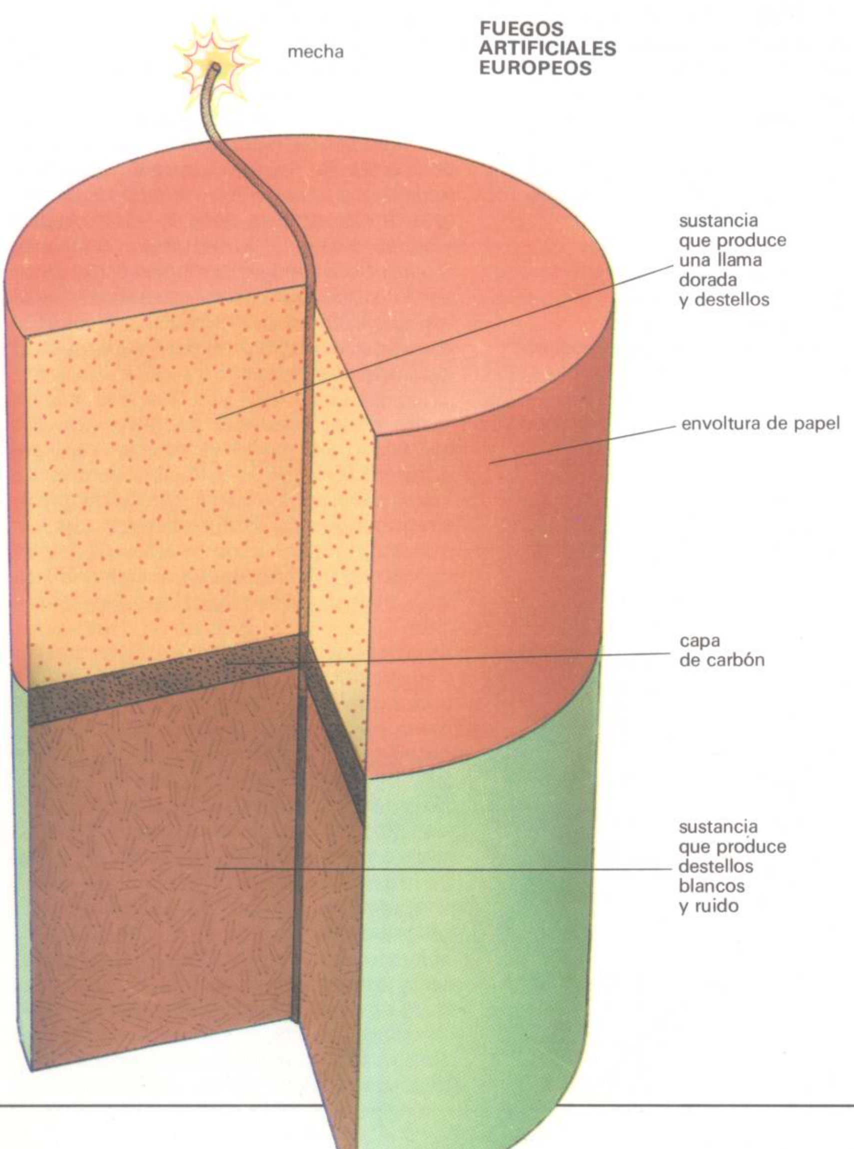
Cohetes Los cohetes son esencialmente versiones de utilidad práctica de los fuegos de artificio; se utilizan como medio de señalización en las autopistas, en los ferrocarriles y en la navegación.

El material combustible empleado en los cohetes, constituido normalmente por un compuesto colorante (como nitrato de magnesio o de estroncio) mezclado con los mismos ingredientes usados para las cargas de los fuegos artificiales, se quema fundido, o en una envoltura de papel y mezclado con cera y serrín, de forma que arda lenta y constantemente.



Véase **Combustión; Explosivos; Pólvora**

FUEGOS ARTIFICIALES EUROPEOS







Hace dos mil años los chinos inventaron la pólvora, cuya primera aplicación fueron los fuegos de artificio. En el transcurso de los siglos los fuegos artificiales han causado un gran número de accidentes, sobre todo por la explosión prematura de los cohetes. A veces han sido considerados tan peligrosos que en muchos países fueron prohibidos. Los dibujos de ambas páginas representan dos tipos diferentes de fuegos artificiales: el europeo y el asiático. Un fuego de artificio de buen efecto (como el de arriba) debe producir colores, destellos, humo y un "trueno" mediante la combustión, según una secuencia establecida, de sustancias químicas diversas.
Cuando los átomos de un compuesto se sobrecalientan, emiten energía bajo forma de una particular longitud de onda o color. Los compuestos de sodio, por ejemplo, producen llamas amarillas; los de estroncio, rojas; y los de bario, verdes.

Fuerza y campos de fuerzas

Una fuerza puede entenderse como una interacción mutua que ocurre entre dos cuerpos, y puede medirse por determinaciones de las masas y velocidades de los cuerpos que interaccionan. Cuando un niño tira un balón al aire, está ejerciendo una fuerza sobre el balón, mientras que simultáneamente la gravedad ejerce otra que "tira" de la pelota hacia abajo.

Los distintos tipos de fuerzas existentes han estado sujetos a clasificaciones que han ido experimentando modificaciones con el paso de los años, pero todos ellos se caracterizan por la capacidad de cambiar la forma, las dimensiones o el estado de movimiento de los cuerpos. Algunos tipos de fuerzas, como la acción que ejerce un imán sobre las limaduras de hierro (haciendo que se distribuyan de acuerdo con determinadas configuraciones), y la repulsión entre un objeto que haya adquirido una carga eléctrica por frotamiento con un paño de lana y otro similar con el mismo estado de electrización, aunque aparentemente de naturaleza diferente, tienen un origen común.

En el siglo XVII, Isaac Newton demostró que la fuerza que hace girar la Tierra alrededor del Sol, la fuerza responsable de las mareas y la fuerza que hace que los objetos se precipiten hacia el suelo son, en realidad, una sola: la *fuerza gravitatoria*.

En el siglo XIX, el científico escocés James Clerk Maxwell demostró que la anteriormente mencionada fuerza de un imán y la producida por un cuerpo con carga eléctrica son manifestaciones distintas del mismo fenómeno, llamado *electromagnetismo*.

Campos En la mayoría de los casos no es necesario que los cuerpos estén en contacto para que exista una acción mutua entre ellos. La influencia eléctrica o magnética que ejerce un determinado objeto se deja sentir de forma creciente al aproximarse a él y disminuye según nos alejamos, hasta que a una determinada distancia puede considerarse nula. La zona del espacio donde se manifiesta esta influencia se denomina *campo*. El campo gravitatorio de la Tierra, por ejemplo, es la región en la que los objetos son atraídos por efecto de la gravedad. Los científicos representan la dirección de la fuerza que se ejerce en cada punto de un campo ayudándose de unas líneas imaginarias conocidas como *líneas de fuerza* o *líneas de campo*, que dan una imagen gráfica de cómo es el campo. Sobre ellas se suelen dibujar flechas que indican cuál es el sentido de la fuerza. Por ejemplo, cuando se representa gráficamente el campo gravitatorio de la Tierra a través de sus líneas de fuerza, se obtiene un conjunto de líneas que convergen en el centro de la propia Tierra.

Cada tipo de fuerza lleva asociado un campo, que se diferencia de los creados por las otras fuerzas en características tales como su extensión, su magnitud, la distribución de sus líneas de fuerza, y en la selección de los objetos sobre los que ejerce su influencia. Así, mientras que un campo gravitatorio ejerce su acción sobre todos los objetos de su alrededor, uno magnético sólo influye sobre un determinado tipo de objetos. De la misma manera, las líneas de un campo gravitatorio tienen un aspecto muy diferente de las de un campo magnético. En éste, la existencia de dos puntos críticos, llamados *polos*, le da una configuración especial. El campo es máximo en ellos, y las líneas de fuerza que se extienden de un polo a otro se superponen como las capas de una cebolla.

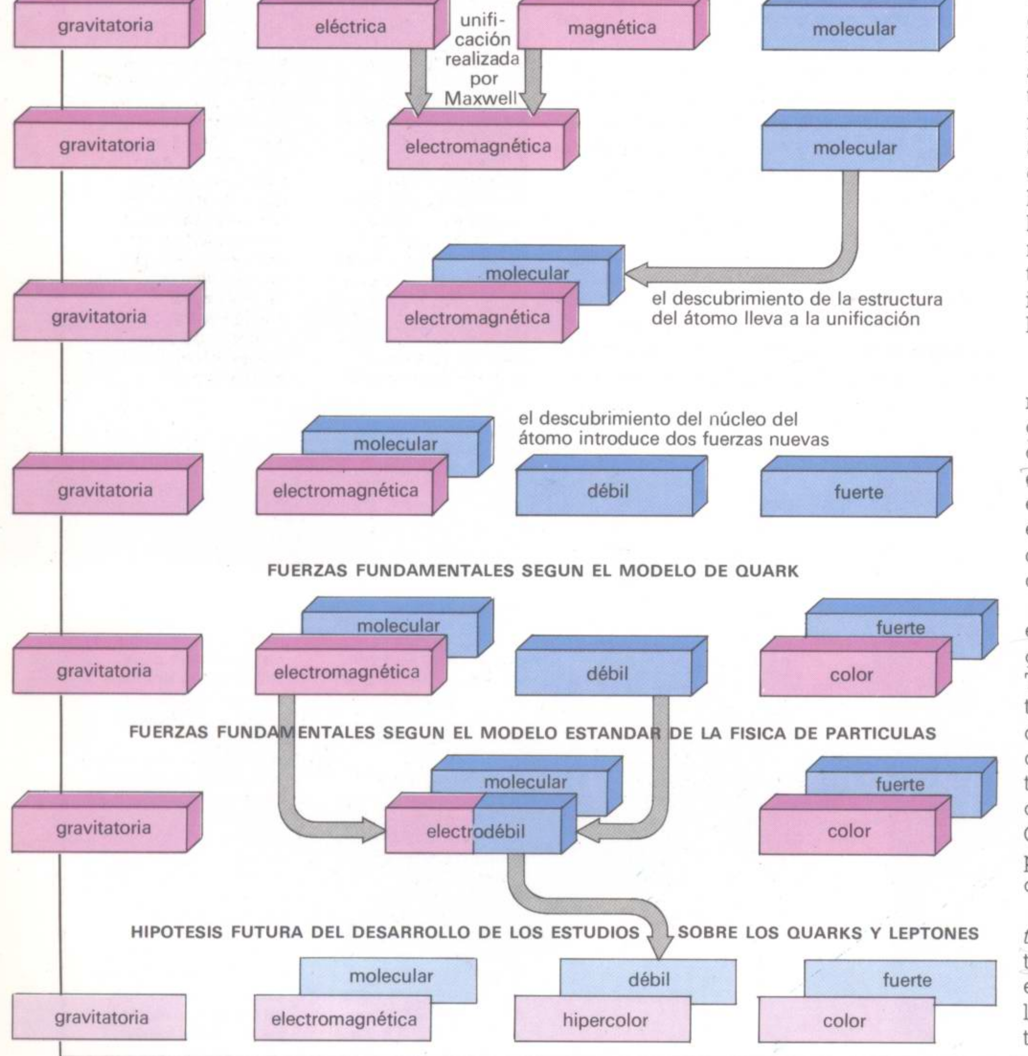
En la actualidad se puede hablar de cuatro tipos de fuerzas, que configuran otros tantos tipos de campos. Dos de ellas, la *gravitatoria* y la *electromagnética*, nos son familiares y podemos observar constantemente sus efectos en el mundo que nos rodea. En cambio, las otras dos, la *interacción nuclear débil* y la *interacción nuclear fuerte*, que se descubrieron cuando los avances en la estructura de la materia llevaron a investigar la composición interna del núcleo del átomo, producen efectos que sólo son perceptibles a distancias increíblemente pequeñas en el interior de los núcleos atómicos.

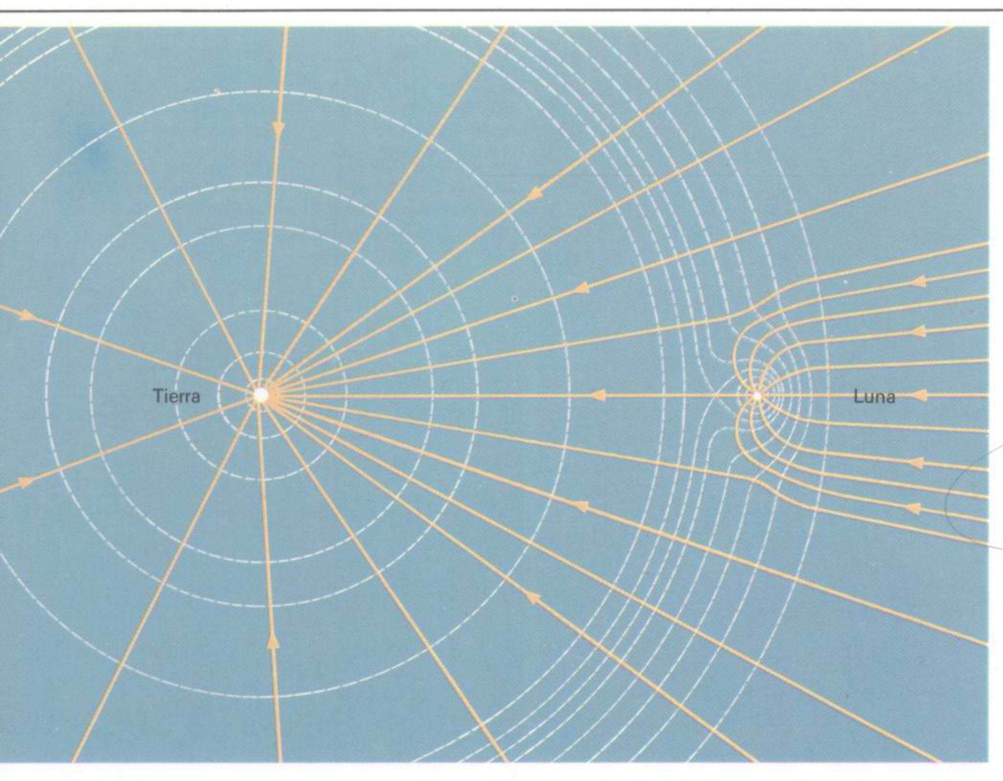
Las cuatro fuerzas La *gravedad*, primera fuerza cuyos efectos fueron detectados por el hombre, es sin embargo la más débil, millones de veces más débil que la electromagnética. Por esta razón, aunque el estudio de su comportamiento fue ya enunciado por Newton en el siglo XVII, su origen permanece básicamente desconocido.

Sus efectos se pueden percibir cuando el cuerpo que origina el campo posee una gran masa. Esta fuerza, que atrae hacia la Tierra hasta los objetos más pequeños, es también la que mantiene a la Luna en su órbita, evitando que escape hacia el espacio exterior. Sin embargo, la atracción mutua entre los objetos de uso cotidiano, aunque comprobada experimentalmente por Cavendish a finales del siglo XVIII, es tan pequeña que se puede considerar como despreciable.

Junto con la gravedad, el *electromagnetismo* es también responsable del aspecto que presenta nuestro mundo. La fuerza electromagnética es la causante de que los electrones se mantengan en sus órbitas alrededor del núcleo de los átomos y







también de que éstos permanezcan unidos para formar las moléculas, dando lugar a todos los elementos y materiales que existen en el Universo.

De la misma forma que el electromagnetismo mantiene unidos los átomos para formar moléculas y une los electrones de un único átomo a su núcleo, la *interacción nuclear fuerte* mantiene unidas entre sí las partículas que forman el núcleo. Esta fuerza es tan intensa (137 veces más que la electromagnética) que compensa la repulsión electromagnética que mutuamente se ejercen las partículas con carga positiva del núcleo. Posee la particularidad de que se manifiesta sólo sobre las partículas que forman el núcleo y no sobre aquéllas que normalmente se encuentran fuera de él, como los electrones. Además, se manifiesta sólo a distancias muy pequeñas, del orden del diámetro de las mismas partículas, y desaparece completamente a distancias mayores (a una diezmillonésima de milímetro, los efectos son ya despreciables). Es como si los hombres estuviéramos sobre una Tierra imaginaria en la que notáramos la gravedad sólo apoyados directamente sobre el suelo, de forma que al subir a una escalera nuestro peso se desvaneciera, haciéndonos flotar por el aire.

Mientras que la interacción nuclear fuerte mantiene compacto a cada núcleo, otro tipo de fuerza, conocido como *interacción nuclear débil*, es el responsable de la desintegración de partículas subatómicas y de un tipo de radiactividad conocido como *radiactividad beta*. Los núcleos del átomo en los que se manifiesta se pueden hacer inestables en determinadas circunstancias, en las que la interacción débil puede expulsar partículas del núcleo. Recientemente se ha demostrado que este tipo de fuerzas puede englobarse dentro de las fuerzas electromagnéticas.

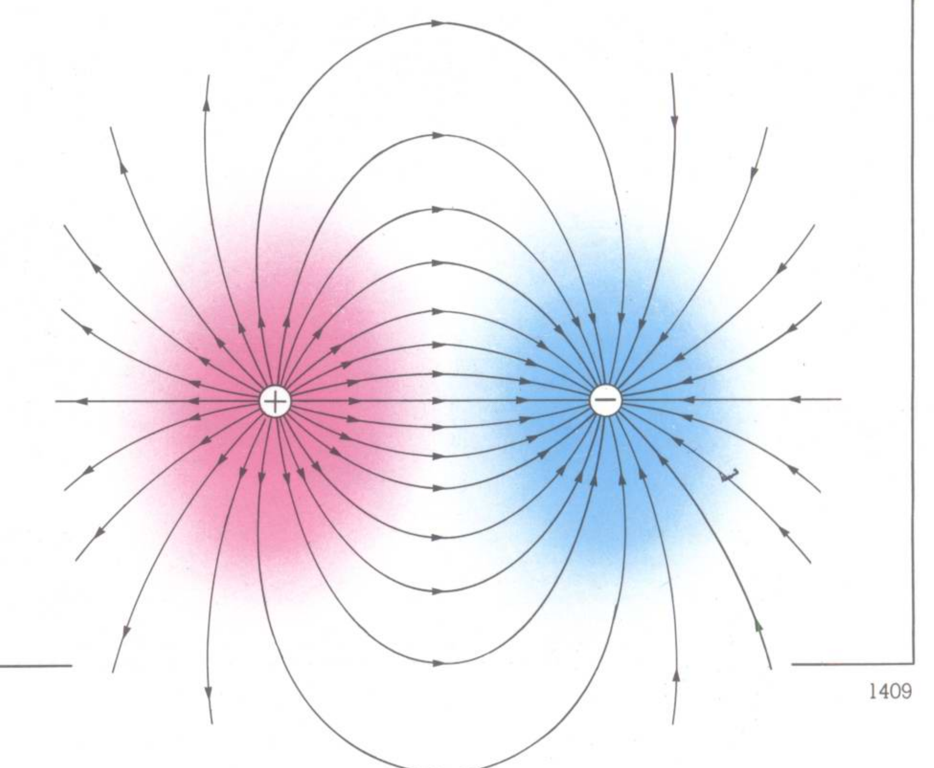
Los científicos mantienen actualmente que todos estos tipos de fuerza son "transportados" por determinados tipos de partículas elementales llamadas *partículas vectores*. Los fotones, los bosones, los gluones y los gravitones serían las partículas que "transportan" la fuerza electromagnética, la interacción nuclear débil, la nuclear fuerte y la gravitatoria, respectivamente.

Teoría de unificación Desde hace ya algunos años, los físicos están haciendo un esfuerzo para intentar describir los distintos fenómenos naturales basándose en un único principio fundamental. Sueñan con repetir el éxito de Maxwell y poder describir cómo los distintos tipos de fuerzas que en la actualidad se consideran como fundamentales son aspectos distintos de una fuerza única. El propio Albert Einstein dedicó los últimos veinte años de su vida, aunque sin éxito, a demostrar que las fuerzas gravitatoria y electromagnética procedían de un origen común.

Recientemente, los físicos han demostrado que el electromagnetismo y la interacción débil son manifestaciones distintas de la misma fuerza, a la que se ha designado como *electrodébil*. Muchos físicos mantienen también que estamos a las puertas de la confirmación de que una teoría más amplia, llamada *teoría de unificación de campos*, pueda englobar también a la fuerza nuclear fuerte. La comprensión del origen de la fuerza gravitatoria, la más familiar pero la más "misteriosa", está en cambio todavía lejana.

Véase **Electromagnetismo; Gravedad y gravitación**

En la página anterior, el esquema de las fuerzas conocidas y que forman parte del estudio de los más variados fenómenos de la Física, desde el movimiento de los cuerpos celestes, en los que está implicada la fuerza gravitatoria, a la estructura de las partículas subatómicas, donde intervienen las fuerzas nucleares fuertes. A menudo la primera misión del físico es descubrir qué tipo de fuerzas está en juego en el fenómeno que está estudiando. En el presente siglo se está trabajando en intentar encontrar lo que para los físicos es la máxima aspiración: probar que el origen de todos los tipos de fuerzas presentes en el Universo es común, y que por tanto responden a una misma teoría. Recientemente algunos especialistas han deducido que las fuerzas electromagnéticas y las interacciones nucleares débiles son fuerzas del mismo tipo. En esta página, arriba, vemos una representación del campo de fuerza gravitatorio producido por las masas de la Tierra y de la Luna. Justamente debajo de estas líneas puede verse un dibujo representando el campo de dos cargas eléctricas de distinto signo.



Fuerzas centrífuga y centrípeta

Los vagones de la montaña rusa discurren a menudo sobre vías que describen círculos verticales en el aire. Durante unos momentos puede llegar a sentirse la escalofriante sensación de encontrarse con la cabeza hacia abajo. Afortunadamente, no hay ningún riesgo de caída, y de hecho se permanece firmemente unido al asiento debido a la acción conjunta de las *fuerzas centrífuga* y *centrípeta*. La fuerza centrífuga ("que huye del centro") es una fuerza radial originada en todo cuerpo que gira circularmente, y tiende a alejarlo de su eje de rotación. De sentido contrario es la *fuerza centrípeta* ("que busca el centro"), que contrarresta a la centrífuga.

Inercia En términos rigurosos, la fuerza centrífuga no se puede considerar como una fuerza propiamente dicha. Un cuerpo eléctricamente cargado, por ejemplo, ejerce una fuerza en cuanto que atrae o repele otros cuerpos eléctricamente cargados. La fuerza centrífuga, por el contrario, tiene su origen en la tendencia que experimentan los cuerpos a oponerse a cualquier cambio en su movimiento.

De acuerdo con la primera ley del movimiento (principio de la inercia) de Newton, un cuerpo continuará en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo, de velocidad uniforme, a menos que una fuerza actúe sobre él. Aplicada esa fuerza, el cuerpo ofrecerá una resistencia a cada intento de modificar su estado de movimiento, resistencia cuyo valor depende de la masa del cuerpo.

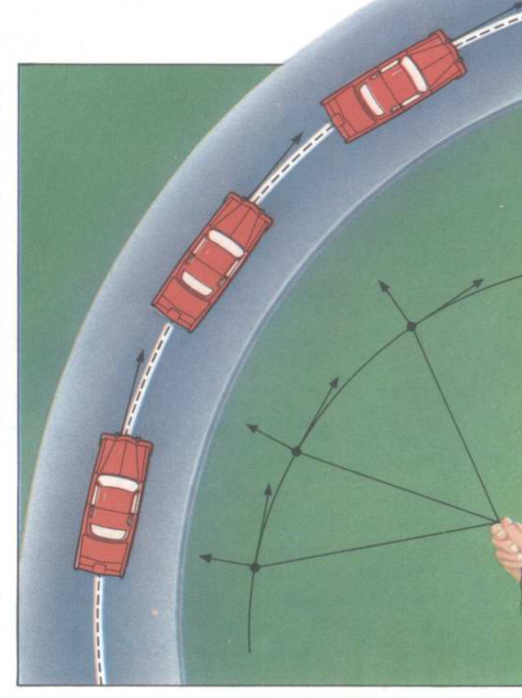
En cuanto a la fuerza centrípeta, existen diversos tipos. La fuerza centrípeta que mantiene a la Luna en su órbita circular alrededor de la Tierra, o a la Tierra misma alrededor del Sol, es de tipo gravitacional. La fuerza centrípeta que hace que circule el tren de la montaña rusa es la fuerza mecánica ejercida por las vías. Sin la fuerza centrípeta, el tren, u otro cuerpo cualquiera, escaparía a lo largo de una trayectoria rectilínea como las gotas de agua de una rueda mojada al girar.

Un cuerpo que se mantiene en una trayectoria circular por la fuerza centrípeta ejerce una cierta resistencia a esta fuerza, como sucedería en el caso de cualquier otra fuerza, por efecto de su inercia. Esta resistencia se denomina *fuerza centrífuga*. La fuerza centrífuga no es una "fuerza real", como la gravedad o la electromagnética, sino que es una pura consecuencia de la inercia.

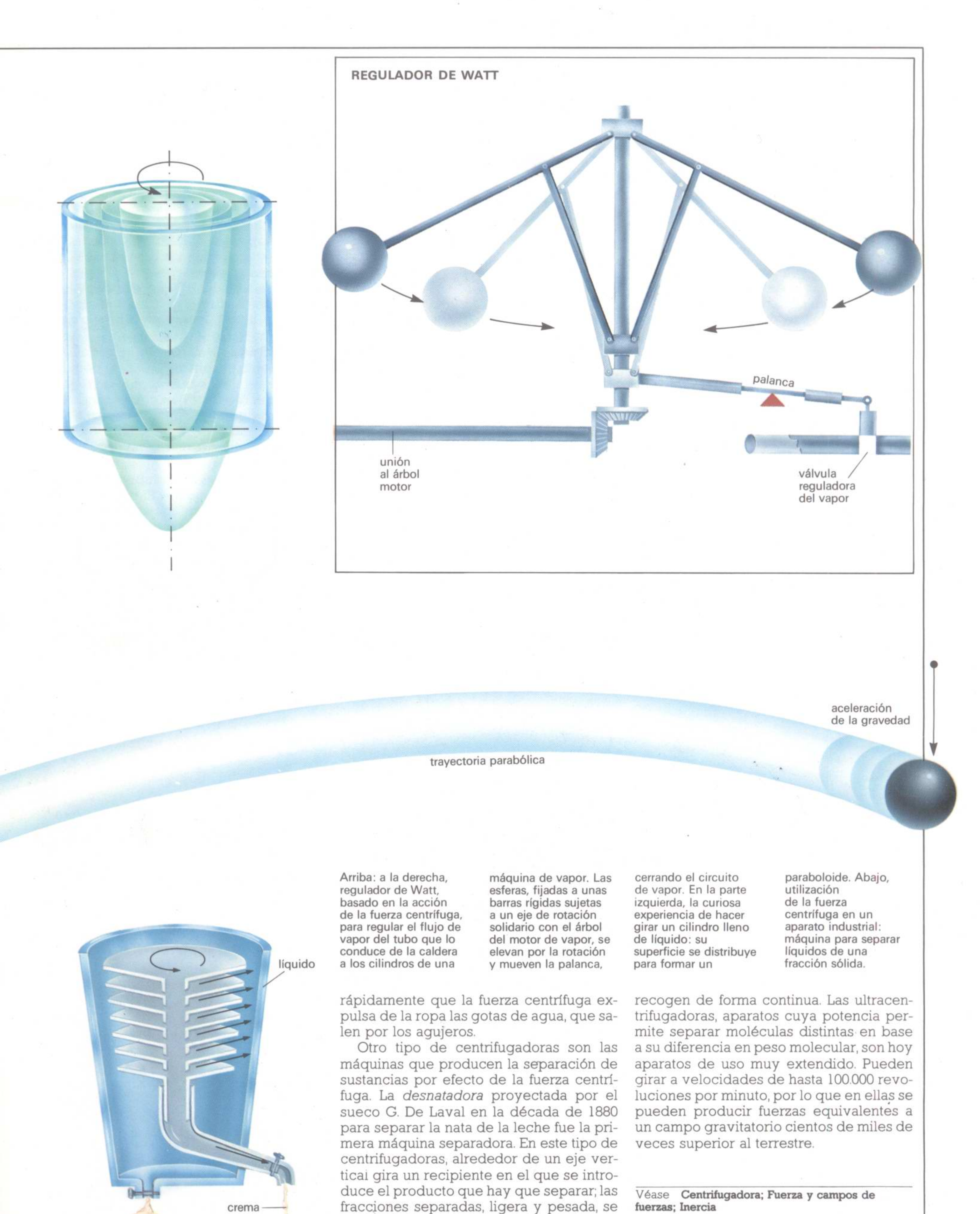
Aplicaciones de la fuerza centrígura Cualquier cuerpo con movimiento de rotación tiende a dilatarse radialmente. A causa de la rotación de la Tierra, por ejemplo, la distancia del centro de la Tierra a un punto del ecuador es mayor que la distancia a los polos; sin embargo, la diferencia es de sólo 21 kilómetros.

Muchos aparatos aprovechan la fuerza centrífuga para su funcionamiento. Una lavadora, por ejemplo, se compone de un cilindro agujereado o tambor en el cual la ropa se lava y se seca. Durante el ciclo en el que se encuentra en veloz rotación (centrifugado), el cilindro se hace girar tan

En la figura, un coche circula por una carretera con una velocidad constante, que mantiene al tomar la curva. En cada instante, su velocidad se puede representar con una flecha que es tangente a la curva misma. Si los neumáticos no se adhirieran, discurriría en línea recta. Para trazar la curva, es necesario ejercer, por medio del giro del eje delantero, una fuerza, la centrípeta, que le hace dirigirse hacia el centro de curvatura de la carretera; la fuerza centrífuga ejerce el efecto contrario.



El ejemplo del lanzador de martillo, a la izquierda, muestra cómo las fuerzas centrífuga y centrípeta se pueden "tocar" con la mano. El lanzador sujeta el martillo (una esfera de hierro) por medio de un cable de acero. Mientras gira sobre sí mismo debe realizar un gran esfuerzo para impedir que la esfera siga una trayectoria tangente a la curva. El esfuerzo ejercido con el cable sobre la esfera es la fuerza centrípeta, que se opone a la centrífuga que tiende a alejar la esfera.



Arriba: a la derecha, regulador de Watt, basado en la acción de la fuerza centrífuga, para regular el flujo de vapor del tubo que lo conduce de la caldera a los cilindros de una máquina de vapor. Las esferas, fijadas a unas barras rígidas sujetas a un eje de rotación solidario con el árbol del motor de vapor, se elevan por la rotación y mueven la palanca, cerrando el circuito de vapor. En la parte izquierda, la curiosa experiencia de hacer girar un cilindro lleno de líquido: su superficie se distribuye para formar un paraboloide. Abajo, utilización de la fuerza centrífuga en un aparato industrial: máquina para separar líquidos de una fracción sólida.

rápidamente que la fuerza centrífuga expulsa de la ropa las gotas de agua, que salen por los agujeros.

Otro tipo de centrifugadoras son las máquinas que producen la separación de sustancias por efecto de la fuerza centrífuga. La *desnatadora* proyectada por el sueco G. De Laval en la década de 1880 para separar la nata de la leche fue la primera máquina separadora. En este tipo de centrifugadoras, alrededor de un eje vertical gira un recipiente en el que se introduce el producto que hay que separar; las fracciones separadas, ligera y pesada, se recogen de forma continua. Las ultracentrifugadoras, aparatos cuya potencia permite separar moléculas distintas en base a su diferencia en peso molecular, son hoy aparatos de uso muy extendido. Pueden girar a velocidades de hasta 100.000 revoluciones por minuto, por lo que en ellas se pueden producir fuerzas equivalentes a un campo gravitatorio cientos de miles de veces superior al terrestre.

Véase **Centrifugadora; Fuerza y campos de fuerzas; Inercia**

Función matemática

El lenguaje ordinario utiliza el término *función* con varias acepciones, una de las cuales recoge con bastante aproximación la que es propia de las matemáticas. Ello es así cuando se dice que una magnitud es *función* de otra porque *depende* de ella; por ejemplo: "el peso es *función* del volumen"; "el precio es *función* de la cantidad"; "la posición del móvil es *función* del tiempo"; etcétera.

Con más precisión matemática, aunque en un plano puramente elemental, puede definirse el concepto de *función* del siguiente modo: sean x e y dos variables reales (es decir: las letras x e y pueden tomar valores en $\mathbb{R}$ o en sendos subconjuntos del mismo); se dice, entonces, que y es *función* de x si a cada valor que tome ésta le corresponde un valor (único y bien determinado) de y. Se dice que x es la *variable independiente* e y la *variable dependiente* o *función*. Se suele utilizar una letra cualquiera, por ejemplo f, para denotar la *función*, y escribir $y = f(x)$. El conjunto en que varía la x se denomina *dominio* de la función y el de variación de y *rango* de la misma. En un lenguaje más actual se dice *original* e *imagen*, en vez de dominio y rango, respectivamente. El conjunto de pares (x,y) tales que $y = f(x)$ se denomina el *grafo* de la función; si se representan en unos ejes cartesianos (normalmente rectangulares) se obtiene una curva o, más general, una familia de puntos que se denomina *gráfica* de la función.

Se añade una tercera acepción al término *función*, la de operación u operaciones matemáticas que hay que realizar con la variable x para obtener la y, lo que, en algunos textos clásicos, también se llamaba la *característica* de la función; se habla así, por ejemplo, de la "función cuadrado" cuando para obtener el valor de la variable dependiente que corresponde a uno dado de la independiente basta elevar al cuadrado éste.

Análogamente, la letra f, o cualquiera otra que se use, sirve para designar tanto la función como ley de correspondencia entre x e y, como el valor $y = f(x)$ que corresponde al x; también en muchos casos, en Análisis, para designar la característica o conjunto de operaciones que hay que hacer con x para obtener y.

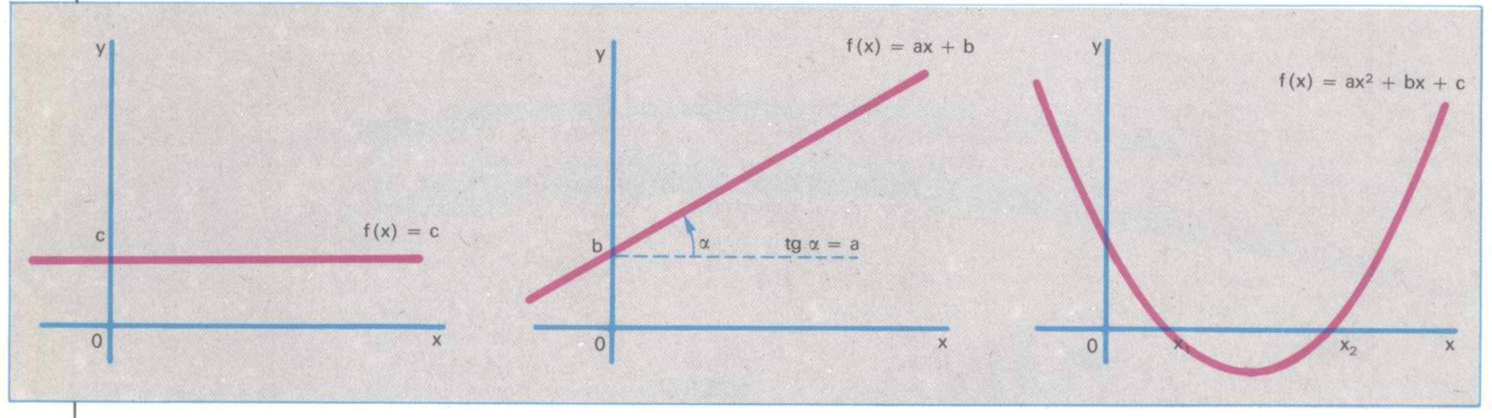
Conviene hacer otra precisión. Se ha definido antes el concepto de función en el sentido de que a todo valor de x en su dominio le corresponde un valor único de y; ésta es la costumbre actualmente más extendida. Sin embargo, en muchos problemas, surge la conveniencia de considerar un caso más general: por ejemplo, que la correspondencia entre valores de x e y sea tal que los haya de x que no tengan ningún y que les corresponda y, por el contrario, que los haya con varios correspondientes. No se trata entonces de una *función* propiamente dicha, en el sentido que se utiliza el término actualmente y que es el que se define de modo preciso en Teoría de Conjuntos, sino del más como leyes de correspondencia y considerar, fundamentalmente, el caso en que las mismas se expresaban por una fórmula matemática explícita, que permitía obtener para cualquier número real x su correspondiente $y = f(x)$, pero en la que cabía la posibilidad de que no estuviese definida para algún x o se produjesen algunas irregularidades.

Ejemplos Conviene aclarar con algunos ejemplos lo expuesto anteriormente.

Supongamos que x es una variable que puede tomar valores en todo $\mathbb{R}$ y que y sólo toma un valor c. Tendremos entonces la función *constante*, $y = c$. Su grafo son los pares (x, c), con x recorriendo $\mathbb{R}$. Su gráfica cartesiana es una recta paralela al eje de asbcisas a distancia c.

Otro ejemplo análogo sería el de que y tomase valores dados por la expresión $y = ax + b$ (con a y b números constantes dados); su *grafo* vendría dado por los pares $(x, ax + b)$, con x real cualquiera y su gráfica cartesiana por la recta de ecuación $y = ax + b$.

Naturalmente cabe complicar los ejemplos de muchos modos. El más simple es ir aumentando la sofisticación de las fórmulas matemáticas explícitas que permiten definir funciones. Así, se pueden poner ejemplos de funciones polinómicas como $y = x^2$, $y = x^3$ o, la más general: $y = a_0 + a_1 x + ... + a_n x^n$; o pasar a definir funciones dadas por expresiones racionales,



Las tres funciones reales de variable real que se representan sobre estas líneas constituyen los tres ejemplos más sencillos de las mismas. Dadas por tres fórmulas algebraicas explícitas, se reducen a la función constante y a polinomios de primero y segundo grado. Las gráficas son, respectivamente, una recta paralela al eje de abscisas, una recta que corta a los dos ejes y una parábola (la de la figura, por tener dos raíces reales, x_1 y x_2, la ecuación $ax^2 + bx + c = 0$ y hacerse $f(x)$ positiva cuando $|x|$ es grande, cumplirá que $a > 0$ y que $b^2 - 4ac > 0$). Se trata, en los tres casos, de funciones cuyo dominio es todo $\mathbb{R}$. Si se recurre al Análisis se puede también afirmar que se trata de funciones continuas y derivables.

La palabra *función* y las notaciones f ó $f(x)$ se han utilizado en el párrafo anterior con alguna ambigüedad (intencionada). En efecto: se ha establecido, por definición, que y es *función* de x, cuando x es la variable independiente e y la dependiente; pero también se ha hecho mención implícitamente de la *función* como la ley o relación que une a x con y; por ejemplo, al hablar del "grafo de la función". Esta segunda acepción es la más importante en la matemática pura actual y se precisará más adelante. Por otra parte, en los cursos elementales de Análisis tiende a darse general de *correspondencia* o *relación*, al que más adelante se hará referencia. Sin embargo, es usual en Análisis Matemático seguir usando la palabra *función* y especificar las anteriores peculiaridades con locuciones como "la función no está definida en tal o cual punto" o la "función es *multiforme* en tal otro", que, bien entendidas, no tienen porqué producir equívocos y que son, por otra parte, el resultado de una cierta herencia cultural; la de tratar sólo con funciones en las que ambas variables, independiente y dependiente, eran reales, ver a las funciones más bien irracionales o trascendentes elementales (exponenciales, logarítmicas y trigonométricas). Es incluso posible combinar diferentes tipos por el procedimiento de la función compuesta o función de función. Para ello se usan tres variables: (x, y, z) y se hace que z dependa de y y ésta de x; es decir, $z = f(y) = f(g(x))$. Por ejemplo:

$$y=x^2 \qquad z=e^y=e^{x^2}$$

Sin embargo, dichos métodos se agotan enseguida y el Análisis Matemático ha recurrido a otros. Uno muy sencillo es el de

la *función implícita*. Sea la expresión

$$F(x, y) = 0;$$

bajo ciertas condiciones, que se estudian en los cursos de Análisis, dicha expresión es satisfecha por puntos (x, y); si a cada uno de tales x se le asigna el correspondiente y se podrá ver éste como función de x, y decir que $F(x, y) = 0$ define implícitamente a $y = f(x)$. En algunos casos la f anterior puede despejarse fácilmente, en otros no es posible, pero no por eso es menos cierto que y depende de x y, por tanto, que es correcto usar el concepto de función. Por ejemplo la expresión $x^2 + y^2 = 1$ es satisfecha por los puntos (x, y) que forman una circunferencia de radio unidad y centro el origen (si se utiliza un sistema coordenado rectangular); es fácil ver, entonces, que dicha expresión define para $x \in [-1, 1]$ la correspondencia $y = \pm\sqrt{1-x^2}$. Si se quiere usar propiamente el concepto de función habría que decir que $x^2 + y^2 = 1$ define las dos funciones

$$y = \sqrt{1-x^2} \qquad x \in [-1, 1]$$
$$y = -\sqrt{1-x^2} \qquad x \in [-1, 1]$$

Este último sería un caso de los que se prestan al lenguaje un poco confuso que a veces se usa. En efecto, $y = \sqrt{1-x^2}$ define una función de $[-1, 1]$ en $\mathbb{R}$, o si se prefiere en $[0, 1]$, pero también se dice que es una función de $\mathbb{R}$ en $\mathbb{R}$ que no está definida para $|x| > 1$. Como a veces, también con algún riesgo de confusión, se dice que $x^2 + y^2 = 1$ define la función multiforme $y = \pm\sqrt{1-x^2}$ o que ésta tiene las dos ramas $y = +\sqrt{1-x^2}$ e $y = -\sqrt{1-x^2}$.

Otros casos pueden presentarse, incluso para funciones dadas por expresiones muy sencillas. Sea, por ejemplo:

$$y = \frac{1}{1-x^2}$$

en Análisis suele decirse que es una función real definida para todos los puntos distintos de $x = 1$ y $x = -1$ en los que no está definida (aunque, a veces, aprovechando el concepto de límite, se diga que en dichos puntos "vale" infinito). Más correctamente debería decirse que la fórmula $y = 1/(1-x^2)$ representa tres funciones distintas definidas de $(-\infty, -1)$, $(-1, 1)$ y $(1, \infty)$ en $\mathbb{R}$.

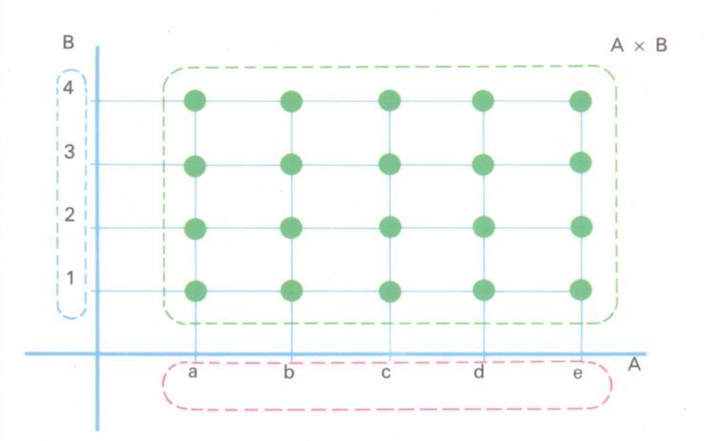
En lo que precede se ha caído, como es costumbre, en la restricción de poner sólo ejemplos de funciones expresables por fórmulas matemáticas sencillas. Ello no debe inducir a error. Una curva dibujada en un sistema cartesiano, de tal modo que haga corresponder a cada valor de la abscisa x (en un cierto dominio) uno de la ordenada y (en un cierto rango) define una función. Lo mismo podría hacerse dando la correspondencia entre valores por una tabla. Igualmente, cabe utilizar varias fórmulas válidas en diferentes subconjuntos y *empalmarlas*; por ejemplo:

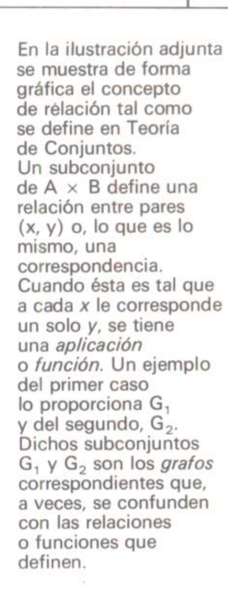
$$y = \begin{cases} 0 & \text{si} \quad x < 0 \\ x & \text{si} \quad 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{si} \quad x > 0 \end{cases}$$

$A = \{a, b, c, d, e\}$

$B = \{1, 2, 3, 4\}$

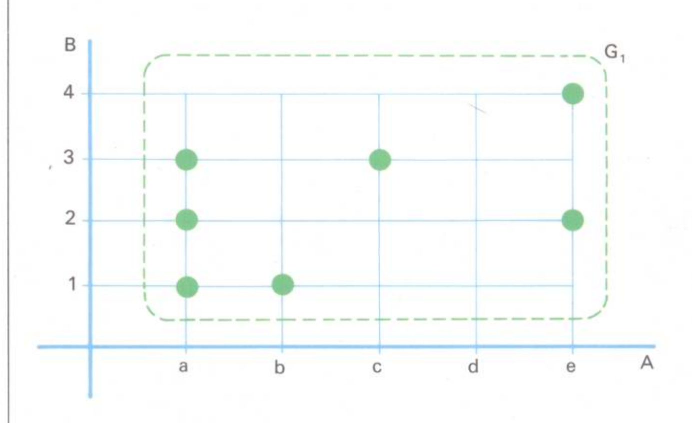
$A \times B = \{(x, y) \mid x \in A, y \in B\}$

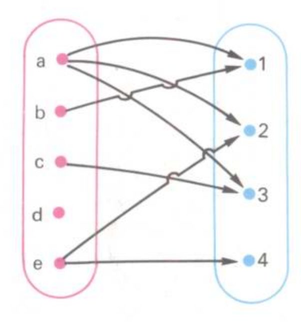




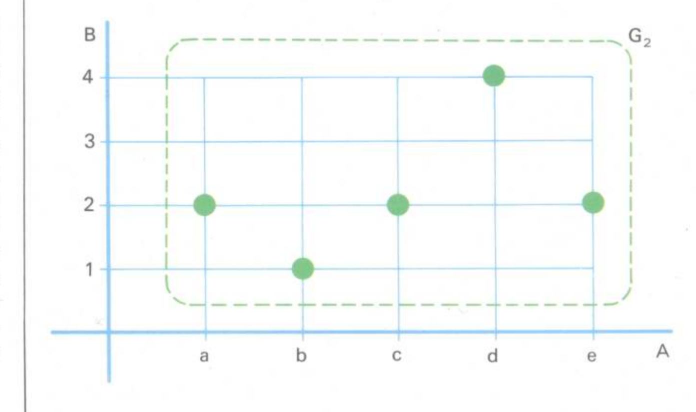
En la ilustración adjunta se muestra de forma gráfica el concepto de relación tal como se define en Teoría de Conjuntos. Un subconjunto de $A \times B$ define una relación entre pares (x, y) o, lo que es lo mismo, una correspondencia. Cuando ésta es tal que a cada x le corresponde un solo y, se tiene una *aplicación* o *función*. Un ejemplo del primer caso lo proporciona G_1 y del segundo, G_2. Dichos subconjuntos G_1 y G_2 son los *grafos* correspondientes que, a veces, se confunden con las relaciones o funciones que definen.

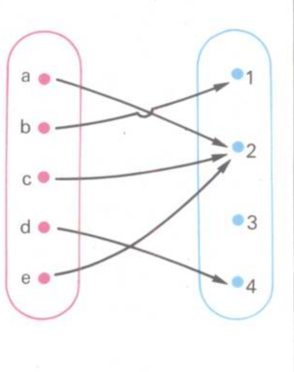
$G_1 = \{(a, 1), (a, 2), (a, 3), (b, 1), (c, 3), (e, 2), (e, 4)\}$





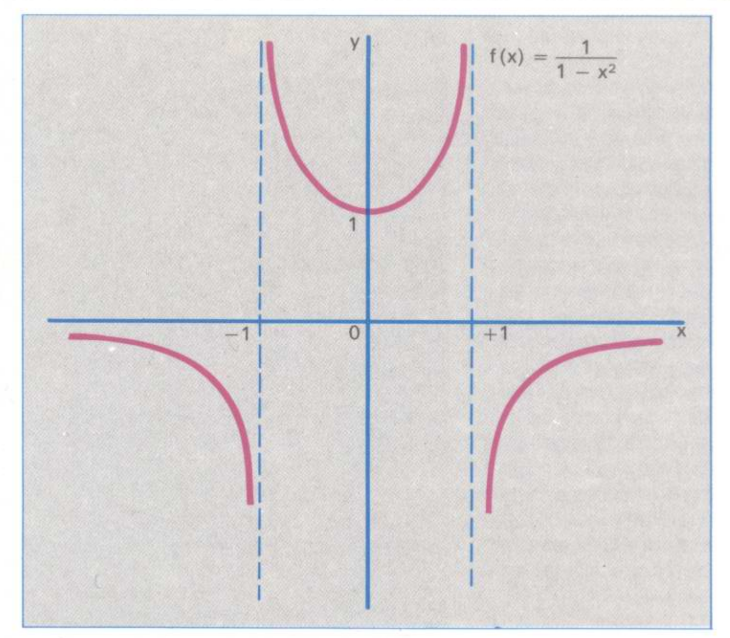
$G_2 = \{(a, 2), (b, 1), (c, 2), (d, 4), (e, 2)\}$





es una función de ℝ en ℝ o, si se prefiere, de ℝ en [0, 1].

El Análisis Matemático, desde Newton y Leibniz, ha ideado otros medios más sofisticados de definir funciones distintas de las que se le pueden ocurrir a uno a base de operaciones matemáticas elementales. Por ejemplo, como resultado de integrar otras funciones, definidas como soluciones de ecuaciones diferenciales o sumando series funcionales (sumas convergentes de infinitos términos, crecientemente pequeños, cada uno de los cuales es una función).



En la figura se representa $f(x) = 1/(1 - x^2)$. Como se explica en el texto principal, cabe interpretar de diferentes maneras la expresión anterior. Obsérvese cómo para $x = \pm 1$ la fórmula $1/(1 - x^2)$ no tiene sentido. En Análisis se puede, en tal caso, estudiar el límite de f(x) cuando x tiende a uno de dichos valores; dicho límite es infinito. De tal resultado se deriva que, a veces, se diga (incorrectamente) que la función $1/(1 - x^2)$ vale infinito en ± 1.

Las ampliaciones del concepto de función No sólo cabe considerar, como se ha visto, funciones reales cada vez más complicadas, sino que se puede extender el concepto a variables cualesquiera. Por ejemplo *x* e *y* pueden tomar valores complejos; o sustituirse *x* por una variable *n*-dimensional, $(x_1, x_2, ..., x_n)$, en cuyo caso $y = f(x_1, x_2, ..., x_n)$ será una función real de la variable vectorial $(x_1, x_2, ..., x_n)$ o, en lenguaje más clásico, una función de las *n* variables $x_1, x_2, ... x_n$.

Puede ampliarse más la cosa y considerar funciones de $\mathbb{R}^n$ en $\mathbb{R}^m$; es decir, a cada $\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)$ de un cierto subconjunto de $\mathbb{R}^n$ hacerle corresponder un $\mathbf{y} = (y_1, y_2, ..., y_m)$ en otro subconjunto de $\mathbb{R}^m$. Se trata, o bien de *m* funciones simultáneas de *n* variables o, si se prefiere, de una sola función vectorial; es decir:

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{x}) \text{ equivale a } \begin{cases} y_1 = f_1(x_1, x_2, ..., x_n) \\ \cdots\cdots\cdots \\ y_m = f_m(x_1, x_2, ..., x_n) \end{cases}$$

Se ve fácilmente que puede generalizarse todo lo que se quiera hasta llegar al caso de que la variable independiente tome valores en un conjunto cualquiera y la dependiente en otro. Así, por ejemplo, la norma de un vector, en un espacio normado cualquiera E, es una función de éste en $\mathbb{R}_+$ ya que a todo $x \in E$ le corresponde un valor real no negativo $\|x\|$. Un caso notable puede ser aquél en que los *vectores* sean, por ejemplo, transformaciones geométricas, funciones, etcétera.

Estas sucesivas ampliaciones obligan a dar una definición mucho más general de función. La misma es posible utilizando el lenguaje de la Teoría de Conjuntos en el modo que sigue.

Sean A y B dos conjuntos no vacíos cualesquiera (sus elementos pueden ser números reales, números complejos, *n*-tuplas de reales o complejos, vectores, matrices, puntos, etc.). Sea AxB el producto cartesiano de ambos; es decir, el conjunto de los pares ordenados (*x*, *y*) tales que *x* es elemento de A e *y* de B. Un subconjunto cualquiera, G, de AxB, dado por una propiedad o elegido con cualquier criterio, estará formado por unos determinados pares; se dice entonces que G define una relación $\mathcal{R}$ entre los elementos *x* e *y*, escribiéndose $x\mathcal{R}y$, si y sólo si $(x, y) \in G$. Naturalmente, la relación $\mathcal{R}$ puede verse también como una regla o ley de correspondencia tal que hace corresponder a elementos *x* de A elementos *y* de B. Precisamente se llama *aplicación* de A en B a la relación o correspondencia definida por un conjunto $G \subset A \times B$ tal que todo $x \in A$ figura al menos en un par, y sólo en uno, de los que forman G. Ello equivale a decir que para cada $x \in A$ existe un único *y* de *B* tal que $(x, y) \in G$. A las *aplicaciones* se les suele llamar también *funciones* (aunque haya una tendencia a reservar este nombre para el caso en que las variables son números reales o complejos y hablar de *aplicaciones* cuando se trata de conjuntos más generales). A veces también se usa *función* como sinónimo de *correspondencia*.

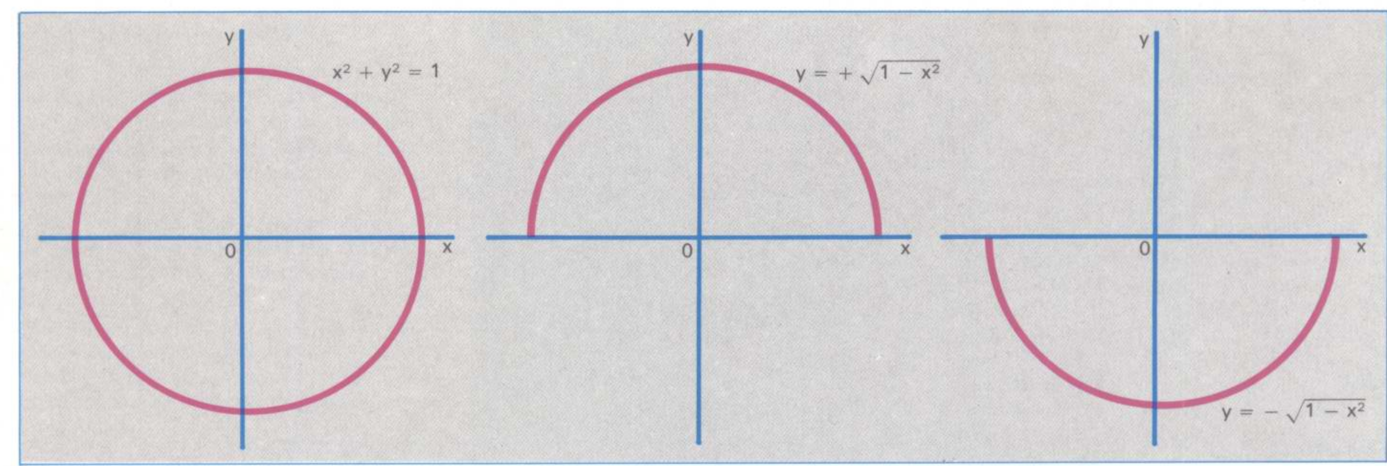
Se suele utilizar letras, *f*, *g*, etc. para designar a las funciones y escribir para simbolizar las definiciones anteriores:

$$A \xrightarrow{f} B \qquad f: A \to B \qquad f: x \to f(x) = y$$

Al subconjunto G de los pares (*x*, *y*) tales que $y = f(x)$ se le llama *grafo de la aplicación* o *función*. Naturalmente:

$$y = f(x) \text{ equivale a } (x, y) \in G.$$

Al conjunto A se le llama original de *f*, al conjunto de los *y* de B tales que cum-



La ecuación $x^2 + y^2 = 1$ puede considerarse que define implícitamente las dos funciones $f(x) = \pm\sqrt{1 - x^2}$. Dicha ecuación corresponde a una circunferencia que no puede ser la gráfica de una función (ya que a cada valor de x en el intervalo $-1 \leqslant x \leqslant 1$ le corresponden dos valores de y), pero que sí puede ser la unión de las gráficas de las dos funciones citadas (cada una en forma de semicircunferencia). Obviamente, para $|x| > 1$ las funciones no están definidas (en terminología clásica) o, mejor dicho, cada una de ellas es, en realidad, una función de $[-1, 1]$ en $[0, 1]$.

plen (x, y)∈G se le llama imagen de *f*, y se designa por *f*(A); obviamente f(A) ⊂ B (aunque no necesariamente *f*(A) = B).

El estudio de las funciones En gran parte la Matemática de los últimos tres siglos ha estado dedicada a estudios en torno a las funciones. Precisamente, su parte más cultivada, desarrollada y rica en aplicaciones prácticas es el Análisis, que ha tenido como objeto, primero el estudio de las funciones reales (de una o varias variables), más tarde el de las funciones de variable compleja y más recientemente el de las definidas entre espacios abstractos.

¿En qué han consistido históricamente dichos estudios? En un principio, en el relativo a materias de continuidad, derivabilidad, integrabilidad y otras semejantes; en segundo término, en la aplicación de los resultados sobre dichas cuestiones a la investigación de otras propiedades de naturaleza, a veces, *geométrica* (determinación de tangentes o cálculo de máximos y mínimos, por poner ejemplos concretos); y, en tercer lugar, a la resolución de ecuaciones funcionales, es decir, de las que tienen por incógnita funciones (sobre todo ecuaciones diferenciales e integrales). ¿Cuáles han sido los métodos seguidos para dicho estudio? Hoy, en el marco de la matemática moderna, se diría que unos de tipo algebraico y otros de tipo topológico. Históricamente, sin embargo, el Análisis creó sus propios instrumentos a partir de conceptos numéricos y espaciales, más o menos *ingenuos*, en estrecha relación con la Geometría analítica. Intuiciones de tipo geométrico (sobre la continuidad, la tangente, etc.) fueron progresivamente formalizadas y transformadas en conceptos rigurosos. Curiosamente muchos de esos conceptos surgidos con poco rigor en el Análisis clásico han sido luego los que han dado origen a las ideas más modernas de la Topología y del Análisis actual, que se basa precisamente en la misma y el Algebra.

Evolución histórica El concepto matemático de función es sin duda un hallazgo moderno. Ahora bien, la idea misma de función como dependencia es conocida de antiguo (por ejemplo, se encuentra en Aristóteles y en la Escolástica). Los precedentes ya más claros del concepto moderno de función se dan en autores de los siglos XIV, XV y XVI, como Oresme, Bradwardine y Galileo, que estudian cuestiones de mecánica y de geometría que, prácticamente, les obligan a usar el mismo, siquiera fuera de forma confusa e inconsciente. Con la geometría analítica de Descartes y el cálculo de Newton y Leibniz, en el siglo XVII, se usa ya de modo más claro, si bien se mantiene restringido al caso de funciones reales dadas por expresiones matemáticas elementales. Así, Bernoulli (Jacob) y Leibniz lo usan explícitamente hacia 1693 y 1694; parece además que éste último es el primero en usar la palabra *función* y Euler la notación *f*(*x*) en 1734.



Leonhard Euler (1707-1783) nació en Basilea, en cuya universidad estudió con Johann Bernoulli. Euler nunca fue profesor universitario pero sí frecuentó las Academias. Trabajó en Berlín y en San Petersburgo (a donde le había llamado la emperatriz Catalina II). Euler es el más prolífico matemático de todos los tiempos (sus trabajos, recopilados en nuestro siglo, ocupan más de setenta volúmenes) y uno de los más notables de la historia. Es uno de los creadores, tras Newton, Leibniz y los Bernoulli, del Análisis. A él se debe una notación y tratamiento para las funciones muy próximos ya a los actuales e importantes resultados sobre el número *e*, desarrollos en serie, etc.

Las funciones se consideraron en principio sólo como dadas por expresiones matemáticas y estudiadas con las técnicas del Cálculo. A Newton, Leibniz, los Bernoulli, Euler, etc. siguieron una larga lista de analistas en el siglo XVIII que fueron ampliando el concepto y los métodos de estudio. La aritmetización del Análisis (Cauchy, Weierstrass, etc.), los desarrollos en serie de Fourier y otros resultados del siglo XIX precisan el concepto de función pero obligan a su extensión, que se consigue en el marco de la Teoría de Conjuntos ya en el siglo XX que, a su vez, ve el nacimiento de la Topología, que aporta métodos de estudio más potentes y rigurosos, y del Análisis Funcional en el que el conjunto de las funciones de A en B se consideran a su vez como un espacio dotado de una estructura algebraica y topológica susceptible de estudio.

Véase **Análisis matemático; Continuidad; Convergencia; Derivada y diferencial; Ecuaciones diferenciales; Espacio matemático; Espacios métricos y topológicos; Integrales; Logaritmo y otras funciones elementales; Optimización; Relación, correspondencia y aplicación; Series; Topología**



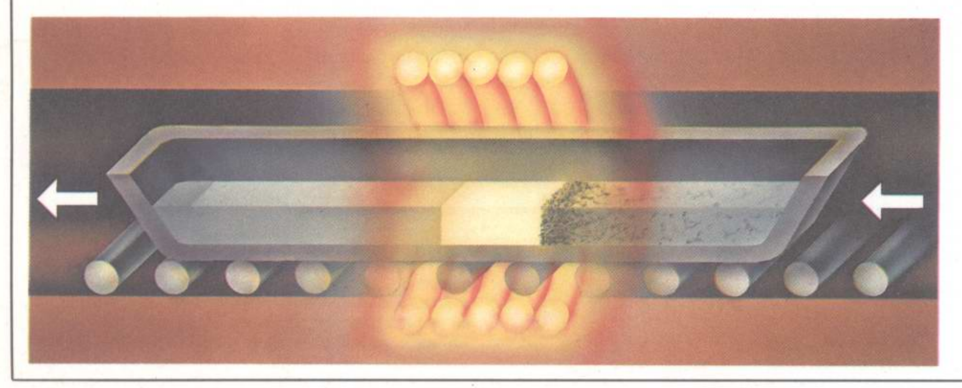
Fundición y colada

Actualmente las piezas de fundición constituyen una categoría muy importante entre las destinadas a las construcciones mecánicas, ya que es posible obtener, mediante la fusión, piezas de formas complicadas que serían muy costosas, o imposibles, de obtener con máquinas-herramienta.

Elaboración del metal Una fundición posee una serie de secciones en las que se llevan a cabo las sucesivas operaciones. La primera de estas operaciones es la obtención de la aleación del metal con que se va a trabajar, que generalmente se transforma en lingotes para poder transportarlo a otras secciones de la fundición o a otras factorías. En estas últimas se reduce a trozos más pequeños para que sea más fácil de manejar. La auténtica fusión o colada se realiza en hornos de distinto tipo. Una vez fundido el metal, se vierte en estado líquido en unos moldes especiales, donde se deja enfriar, obteniéndose una pieza de la forma deseada. Preformados de fusión como los utilizados para los árboles de las turbinas de vapor pueden contener muchos centenares de toneladas de acero.

En los últimos veinticinco años, la industria siderúrgica ha sufrido una revolución con la introducción de la colada continua, proceso mediante el cual el metal se vierte sin cesar sobre unos tubos rectangulares de varias secciones, se somete a un enfriamiento rápido con chorros de agua y se extrae continuamente del fondo para cortarlo a las longitudes deseadas.

El río ardiente de la colada de fundición se desliza a lo largo del canal de alimentación y va a terminar en los moldes preparados para confeccionar los lingotes. Sobre la superficie de la masa fundida flota "espuma", una escoria que se forma durante la fusión y que, al separarse de la fundición en formación, deja una fundición más pura. Si la colada recuerda la imagen del horno alto, la fusión por zonas se usa para producir monocristales usados en la industria electrónica: se funde el material en un crisol que se calienta dentro de un horno en una zona especial. El proceso permite obtener monocristales más puros que el material de partida.



Métodos de moldeo El molde es una cavidad de forma y dimensiones idénticas a las de la pieza que se quiere obtener; en él se colará el metal fundido que una vez solidificado reproducirá la pieza deseada.

La mayor parte de los moldes de fusión para metales están hechos de arena. Los moldes de arena verde (mezcla de granos de arena, arcilla, agua y aditivos) son el tipo más sencillo y se usan para objetos bastos sin muchos detalles, como son las pesadas bases de las máquinas. Los moldes de arena seca mantienen mejor la

forma, ya que utilizan como aglomerante distintos tipos de resina. Para hacer el molde de arena se utiliza un modelo de madera en el que se incluyen los *bebederos* y *mazarotas* (depósitos que almacenan metal fundido y suministran material cuando se contrae la pieza al enfriarse). Los moldes de costra constituyen un gran avance en el moldeo con arena y ofrecen un acabado más liso, con detalles más precisos. Requieren modelos de metal que es necesario calentar hasta 232 °C y recubrir con sílice (arena) mezclada con una resina plástica especial. La arena forma una capa (que constituye la *costra*) de 3 a 13 milímetros de espesor alrededor del modelo, que posteriormente se cuece durante un minuto a 315 °C a fin de endurecer la resina.

Para obtener agujeros o cavidades internas de la pieza, es necesario modelar por separado un macho y posteriormente cocerlo. Las dos mitades del molde (*tapa* y *rastra*) se colocan en un contenedor llamado *caja*, mientras que unas sujeciones llamadas *soportes de macho* mantienen en su sitio al macho. Para grandes coladas, el metal fundido se vierte en el molde mediante un gran cubo transportado desde el horno de fusión por una grúa.

Los proyectistas de modelos para moldes de arena evitan colocar paredes delgadas junto a otras gruesas, ya que las distintas velocidades de enfriamiento que generarían pueden provocar fracturas.

Finalmente, es necesario romper el molde de arena para poder extraer el producto acabado (*desmoldeado*). La pieza obtenida presenta, por lo general, irregularidad de superficie que es necesario eliminar: se pule la superficie para eliminar el óxido y la arena del molde que se hayan podido incrustar. Esta operación, llamada *desbarbado*, se efectúa mediante muelas o por chorro de arena a presión.

Las piezas de acero y de hierro salen del molde cubiertas de cascarilla (oxidación), que se puede eliminar mediante un tratamiento con ácido o *decapado*.

Además de los moldes de arena, se utilizan también moldes permanentes o *coquillas*. Son moldes metálicos (de hierro o acero) utilizados en la fundición de metales y aleaciones no férreas. Este método permite mayores producciones, mejor acabado y tolerancias más estrechas.

La fundición de precisión o fusión con molde a la cera perdida fue desarrollada hace más de mil años por los indios de Suramérica y antes todavía por los chinos, para fabricar joyas y adornos. En este proceso se emplean modelos de cera para cada pieza que hay que producir. Se utiliza para pequeñas piezas que requieren una gran precisión, como los instrumentos quirúrgicos. El modelo está hecho de cera o plástico y se recubre con yeso o con un material refractario resistente al calor. Después se calienta el molde para fundir la cera y se cuela el metal mientras el molde está todavía caliente. Para extraer el producto acabado es necesario también romper el molde.

Los metales que tienen puntos de fusión inferiores a 1.300 °C pueden colocarse en moldes de escayola o yeso aglutinado. La escayola normalmente usada es una mezcla de yeso de París y materiales destinados a mejorar su resistencia o fraguado.

Por último, la fusión a presión requiere grandes y costosos aparatos que inyectan el metal a presión en unas cavidades con la forma deseada, llamadas *estampas*. Este es un método moderno (todo el proceso dura alrededor de un minuto) para producir grandes cantidades de pequeñas piezas de alta calidad, como, por ejemplo, los engranajes.

Véase **Acero; Aleación; Hierro**



La operación de fusión y colada se realiza con distintos materiales, entre los que se ↓ encuentra el vidrio usado para la producción de lentes ópticas, es decir, el vidrio de óptica. Aquí vemos la masa de vidrio fundido, que posteriormente se someterá a un enfriamiento muy lento. En cambio, detrás podemos ver un tren de lingotes de acero: ahora su destino es la sección de "destripamiento", que es la operación mediante la cual se extraen los lingotes de las lingoteras una vez que se ha producido la solidificación. Para extraer los lingotes de acero se utilizan unas tenazas especiales que enganchan el soporte del lingote sacándolo y levantándolo lentamente, de la misma manera que lo hace un niño en la playa cuando tira de su cubito para liberar el molde de arena húmeda. Los lingotes de la figura se han producido en un horno Martin-Siemens.

Funicular

Una de las conquistas tecnológicas más importantes de este siglo ha sido el desarrollo de métodos para la fabricación en serie de cables metálicos. Estos están formados por hilos metálicos enrollados como las fibras que componen una soga, y son los elementos esenciales para la construcción de puentes colgantes, asi como en las instalaciones de funiculares, teleféricos y otros transportes por cable.

El funicular es en realidad un ferrocarril destinado a salvar grandes pendientes, siendo el mejor medio de transporte para llegar a las cumbres montañosas con muy poco recorrido. El teleférico o funicular aéreo está formado por cabinas suspendidas de uno o más cables colocados a cierta altura por medio de torres.

Funiculares Los funiculares están movidos por cables y van generalmente sobre raíles, dedicándose al transporte de personas y mercancías en recorridos de fuerte desnivel.

Los funiculares disponen normalmente de dos vías, una para cada cabina. En la estación más elevada se halla instalado un motor que acciona una polea de gran diámetro, sobre la cual se arrolla y desenrolla el cable flexible, determinando la subida de una cabina y el descenso de la otra de forma simétrica; los dos trenes parten al mismo tiempo, uno de la estación superior y otro de la inferior, encontrándose a mitad del recorrido. Las ruedas del vehículo apoyan directamente sobre los raíles y su piso es escalonado, de forma que durante la subida el pasajero permanezca en posición horizontal. Algunos funiculares son movidos únicamente por una carga de agua que es introducida en sus depósitos cuando el vehículo se encuentra en la estación superior y vaciada cuando se encuentra en la inferior. Al ser más pesada la cabina que se halla en la cima que la que se encuentra abajo, desciende haciendo que la otra suba.

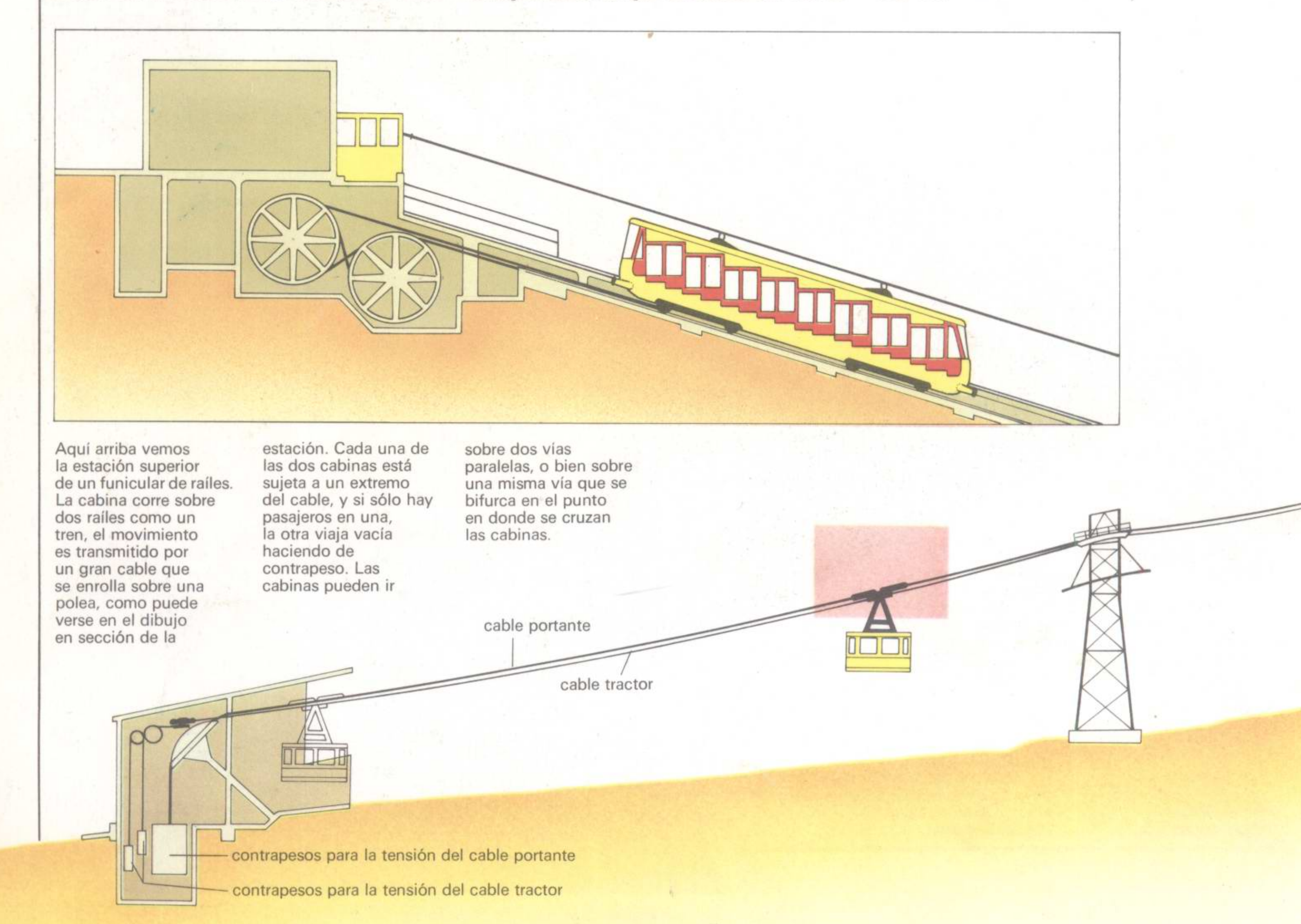
La principal ventaja de un funicular estriba en la posibilidad de superar fuertes desniveles con breves recorridos. Además, este sistema reporta un notable ahorro de energía, ya que ésta sólo debe suministrarse en cantidad suficiente para vencer los rozamientos y la eventual diferencia de peso entre las dos cabinas, puesto que el cable que las une hace que los pesos propios se equilibren.

Los funiculares son muy utilizados en los Alpes: cerca del lago Lucerna, en Suiza, hay alrededor de 10 instalaciones. Un funicular de dos tramos transporta los pasajeros desde el lago hasta una altitud de 770 metros. Uno de los funiculares más conocidos del mundo es el que transporta los pasajeros a Montmartre, la colina más alta de París.

Teleféricos Los teleféricos o funiculares aéreos son sistemas especiales para transporte en los que los raíles del funicular se sustituyen por cables de acero. Pueden tener uno o más cables. Cuando son *monocable*, disponen de un cable continuo aéreo que tiene la función de suspender y arrastrar las cabinas. El cable recibe el movimiento de un conjunto polea-motor eléctrico y se mantiene en tensión mediante adecuados contrapesos. El *telesilla*, utilizado en las localidades montañosas así como en los parques zoológicos o de atracciones, constituye un ejemplo clásico de teleférico monocable, en el que las cabinas han sido sustituidas por un asiento monoplaza o biplaza al descubierto.

Cuando el teleférico dispone de dos o más cables, uno o dos de ellos son *cables portantes* y no se mueven. Son similares a las vías de un tren y sostienen el peso de las cabinas por medio de poleas. Otro cable enganchado a las cabinas, llamado *cable tractor*, tiene la misión de ponerlas en movimiento. Uno de los más largos teleféricos de dos cables es el que se ha venido usando para transportar hierro desde Kristinenberg a Boliden, dos localidades de Suecia que se encuentran a una distancia de alrededor de 96 kilómetros.

Un ejemplo de teleférico utilizado para el transporte de masas es el que se construyó en Nueva York en el año 1976 para cruzar el East River desde Manhattan a la isla Roosevelt. Este teleférico transporta diariamente en sus dos cabinas de 6.000 a 7.000 personas que habitualmente acuden a la isla.

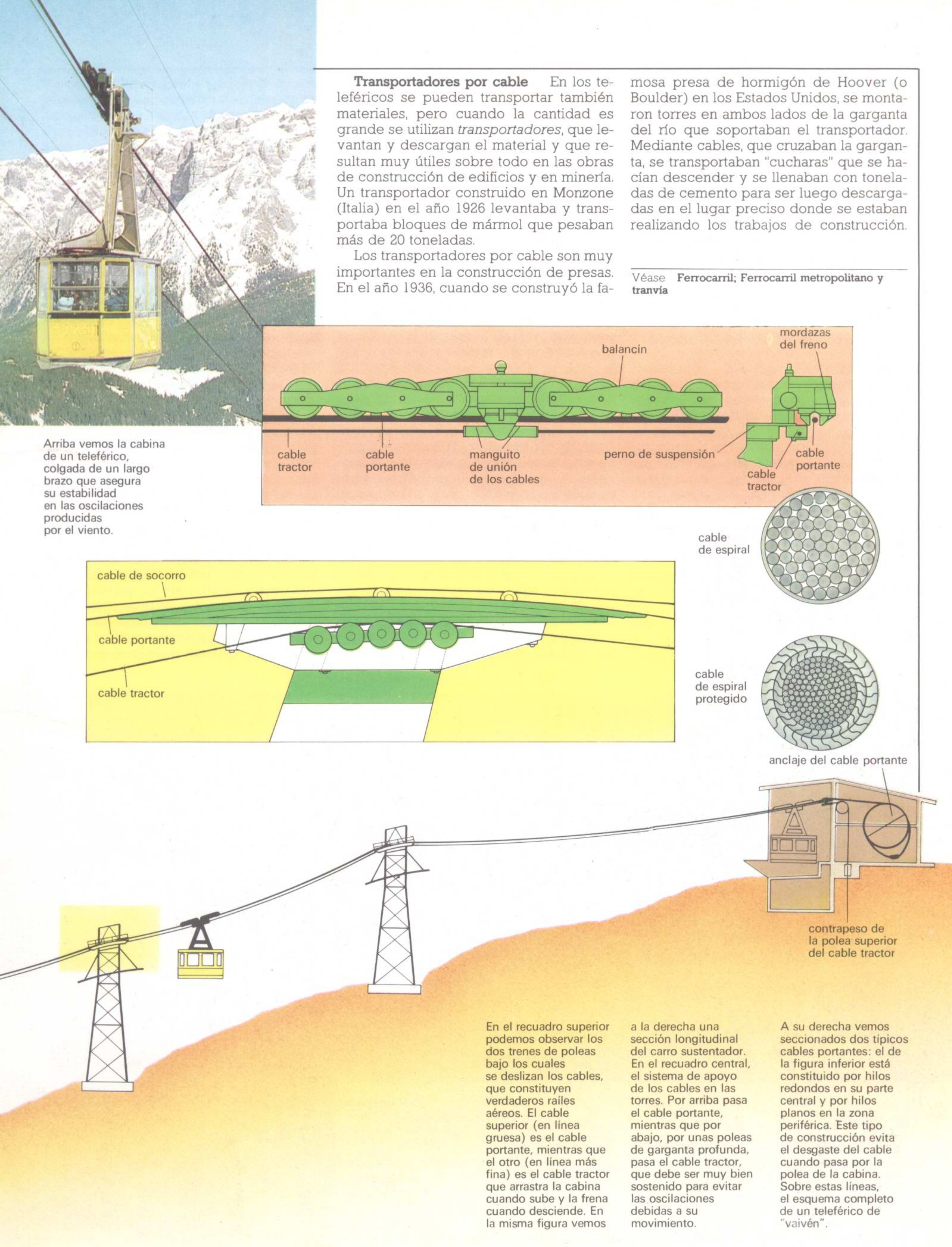


Aquí arriba vemos la estación superior de un funicular de raíles. La cabina corre sobre dos raíles como un tren, el movimiento es transmitido por un gran cable que se enrolla sobre una polea, como puede verse en el dibujo en sección de la estación. Cada una de las dos cabinas está sujeta a un extremo del cable, y si sólo hay pasajeros en una, la otra viaja vacía haciendo de contrapeso. Las cabinas pueden ir sobre dos vías paralelas, o bien sobre una misma vía que se bifurca en el punto en donde se cruzan las cabinas.

Transportadores por cable En los teleféricos se pueden transportar también materiales, pero cuando la cantidad es grande se utilizan *transportadores*, que levantan y descargan el material y que resultan muy útiles sobre todo en las obras de construcción de edificios y en minería. Un transportador construido en Monzone (Italia) en el año 1926 levantaba y transportaba bloques de mármol que pesaban más de 20 toneladas.

Los transportadores por cable son muy importantes en la construcción de presas. En el año 1936, cuando se construyó la famosa presa de hormigón de Hoover (o Boulder) en los Estados Unidos, se montaron torres en ambos lados de la garganta del río que soportaban el transportador. Mediante cables, que cruzaban la garganta, se transportaban "cucharas" que se hacían descender y se llenaban con toneladas de cemento para ser luego descargadas en el lugar preciso donde se estaban realizando los trabajos de construcción.

Véase **Ferrocarril; Ferrocarril metropolitano y tranvía**



Arriba vemos la cabina de un teleférico, colgada de un largo brazo que asegura su estabilidad en las oscilaciones producidas por el viento.

En el recuadro superior podemos observar los dos trenes de poleas bajo los cuales se deslizan los cables, que constituyen verdaderos raíles aéreos. El cable superior (en línea gruesa) es el cable portante, mientras que el otro (en línea más fina) es el cable tractor que arrastra la cabina cuando sube y la frena cuando desciende. En la misma figura vemos a la derecha una sección longitudinal del carro sustentador. En el recuadro central, el sistema de apoyo de los cables en las torres. Por arriba pasa el cable portante, mientras que por abajo, por unas poleas de garganta profunda, pasa el cable tractor, que debe ser muy bien sostenido para evitar las oscilaciones debidas a su movimiento. A su derecha vemos seccionados dos típicos cables portantes: el de la figura inferior está constituido por hilos redondos en su parte central y por hilos planos en la zona periférica. Este tipo de construcción evita el desgaste del cable cuando pasa por la polea de la cabina. Sobre estas líneas, el esquema completo de un teleférico de "vaivén".

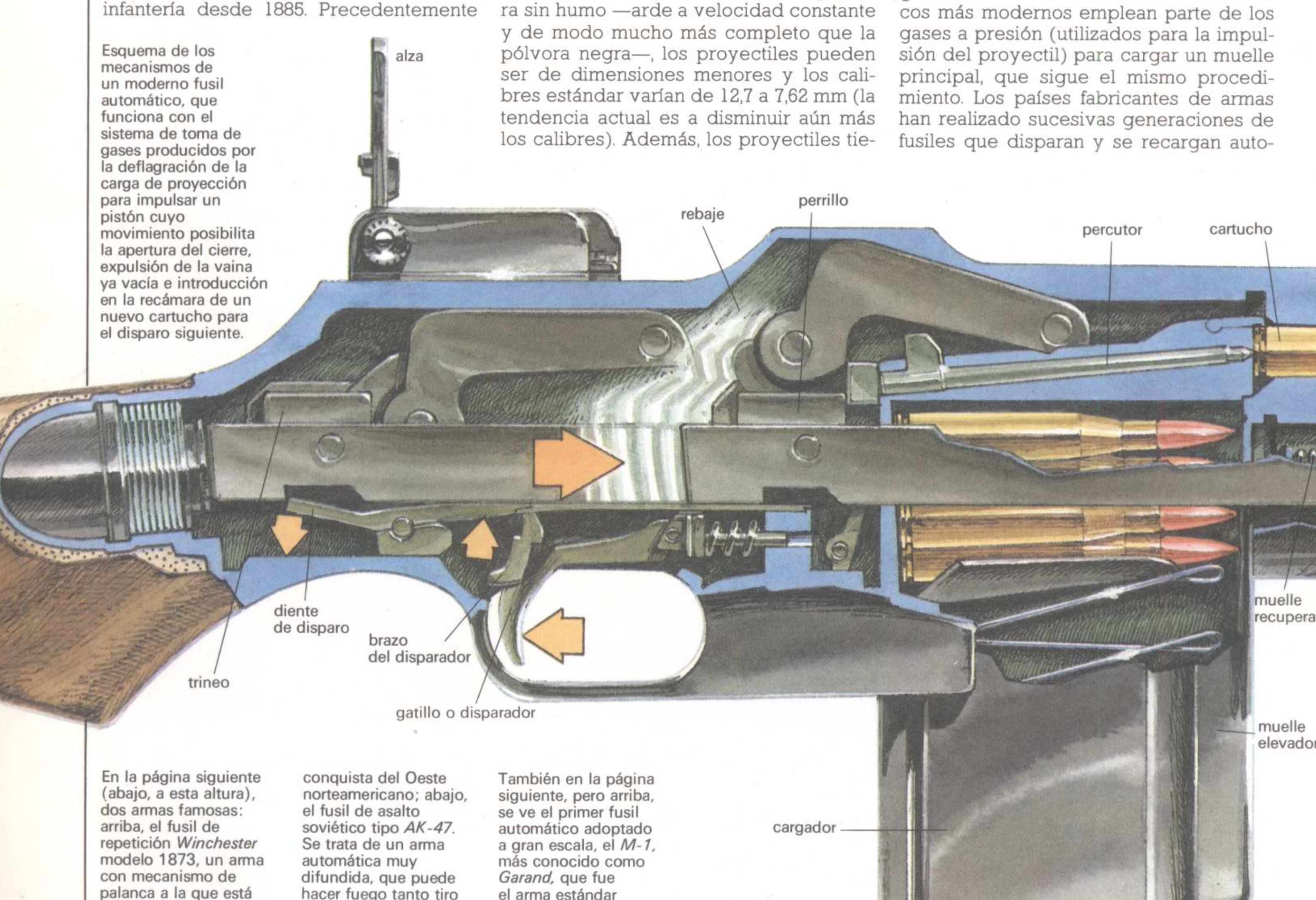
Fusil

La denominación *fusil* es muy amplia. Técnicamente, cualquier arma de fuego que tenga el cañón con el interior (ánima) acanalado helicoidalmente es un fusil. (Esta característica proporciona al proyectil un movimiento de rotación sobre su eje longitudinal, estabilizándolo en la trayectoria y aumentando la precisión). Según esta definición, todas las armas de fuego excepto las escopetas de perdigones y los morteros, que son de ánima lisa (o sea, sin el rayado), pueden ser llamadas *fusiles*. Pero, según la terminología corriente, se entiende por fusil un arma de fuego portátil, de ánima rayada, que para ser utilizada tiene una culata que se apoya en el hombro del tirador.

Desarrollo en el siglo XIX Aunque el primer proyecto de fusil se desarrolló en el siglo XV, los principios de funcionamiento de este tipo de arma se definieron en la segunda mitad del siglo XIX y, en esencia, no se han cambiado hasta el día de hoy. Fusiles que utilizan pólvoras sin humo (nitrocelulosa, a veces en combinación con nitroglicerina) en vainas para cartuchos que se disparan tiro a tiro con una técnica de fulminante a percusión están en dotación como arma estándar de la infantería desde 1885. Precedentemente fue empleada una carga de lanzamiento de pólvora negra: una mezcla de salitre, carbón en polvo y azufre. (La *carga de lanzamiento*, o *de proyección*, tiene la función de, una vez activada por el cebo, producir gases con elevado contenido energético para impulsar hacia adelante al proyectil). El cebo a percusión de la carga ha permitido el desarrollo de municiones muy eficaces, que pueden ser cargadas por la "culata" del cañón del fusil en lugar de por la boca (avancarga), como sucedía en los viejos arcabuces. En los modernos fusiles, el cartucho está constituido por la vaina, que contiene la carga de proyección y el cebo, a cuya extremidad se engarza el proyectil. Al apretar el gatillo, se libera un percutor metálico y va a golpear la base de la vaina, donde está colocada la carga detonante (en general, fulminato de mercurio: un explosivo sensible a los golpes). En ese momento, la carga fulminante hace explosión por el choque, provocando el encendido de la carga de proyección contenida en la vaina, la cual produce una enorme cantidad de gas en expansión muy rápida. El proyectil es impulsado por esta masa de gas al interior del cañón del fusil hacia la boca y el blanco. Gracias a la notable potencia de la pólvora sin humo —arde a velocidad constante y de modo mucho más completo que la pólvora negra—, los proyectiles pueden ser de dimensiones menores y los calibres estándar varían de 12,7 a 7,62 mm (la tendencia actual es a disminuir aún más los calibres). Además, los proyectiles tienen un alcance y una velocidad superiores, y una mayor precisión, que los conseguidos con pólvora negra.

Las operaciones de recarga y disparo resultan más sencillas, puesto que la vaina del cartucho precedente puede ser expulsada y sustituida rápidamente sin dejar restos (residuos de la combustión de la carga de proyección) en el interior del cañón del fusil.

Fusiles de repetición A finales del siglo XIX, partiendo de los fusiles semiautomáticos empleados hasta entonces, se desarrollaron las primeras armas de repetición. Los mismos principios de funcionamiento se aplican todavía hoy en las ametralladoras y en la mayor parte de los fusiles de combate. La característica típica de los fusiles de repetición es su capacidad para recargarse automáticamente. Los primeros fusiles automáticos y las primeras ametralladoras utilizaban parte de la energía de la carga de proyección (energía de retroceso) para abrir el cierre que contenía la vaina, expulsándola, y cargar un muelle que volvía a poner el cierre en posición para la carga automática de un nuevo cartucho recogido de un cargador unido al fusil. Los fusiles automáticos más modernos emplean parte de los gases a presión (utilizados para la impulsión del proyectil) para cargar un muelle principal, que sigue el mismo procedimiento. Los países fabricantes de armas han realizado sucesivas generaciones de fusiles que disparan y se recargan auto-



Esquema de los mecanismos de un moderno fusil automático, que funciona con el sistema de toma de gases producidos por la deflagración de la carga de proyección para impulsar un pistón cuyo movimiento posibilita la apertura del cierre, expulsión de la vaina ya vacía e introducción en la recámara de un nuevo cartucho para el disparo siguiente.

En la página siguiente (abajo, a esta altura), dos armas famosas: arriba, el fusil de repetición *Winchester* modelo 1873, un arma con mecanismo de palanca a la que está unida la historia de la conquista del Oeste norteamericano; abajo, el fusil de asalto soviético tipo *AK-47*. Se trata de un arma automática muy difundida, que puede hacer fuego tanto tiro a tiro como en ráfagas.

También en la página siguiente, pero arriba, se ve el primer fusil automático adoptado a gran escala, el *M-1*, más conocido como *Garand*, que fue el arma estándar del ejército de Estados →

mática y semiautomáticamente, y cuyas dimensiones han venido disminuyendo para mejorar su manejabilidad. Asimismo, las dimensiones de las municiones han disminuido, de forma que el cargador puede contener un mayor número de cartuchos. Armas de este tipo se clasifican generalmente como fusiles de asalto. Durante la II Guerra Mundial y durante la guerra de Corea, el fusil semiautomático *M-1 Garand* fue el arma estándar de dotación en la infantería estadounidense. Tiene un calibre de 7,92 mm y pesa menos de 4,5 kg. Los alemanes desarrollaron el *MP-44*, que asimismo tenía un calibre de 7,92 mm y que disparaba también a ráfagas con buena precisión hasta una distancia de tiro de 300 m. Después de la guerra, los soviéticos emplearon una tecnología parecida para la realización del *AK-47*. Este arma pesaba 5 kg aproximadamente y el cargador contenía 30 disparos. Los Estados Unidos desarrollaron el sucesor del *M-1*, llamado *M-14*, que disparaba proyectiles de calibre algo inferior (7,62 mm) con notable precisión hasta unos 900 m. Este calibre fue adoptado como calibre estándar en los países de la OTAN en 1952. Actualmente, los fusiles OTAN que utilizan el calibre 7,62 son el belga *FN*, el alemán *G-3*, el italiano *Beretta "FAL"* y el español CETME. El modelo *M-16*, fabricado por Estados Unidos en los años setenta, es un fusil completamente automático, que dispara proyectiles de pequeño calibre (5,56 mm) tiro a tiro o a ráfagas con buena precisión hasta unos 320 m. Es considerada un arma aceptablemente estable durante el tiro a ráfagas porque los proyectiles que dispara tienen un peso reducido en relación con el del arma, aligerada notablemente —respecto a las fabricadas hasta el presente— mediante el uso de nuevos materiales. Estas nuevas armas ligeras de infantería de tiro rápido parecen indicar con bastante claridad las futuras tendencias en el campo del diseño de los fusiles.

Véase **Ametralladora**

→ Unidos durante la II Guerra Mundial. Al lado, su cartucho de 0,30 pulgadas de calibre, que va en cargadores de ocho disparos. Justo debajo: el fusil de asalto *L-1 A-1* (versión inglesa del arma belga *FN-FAL*), de dotación en muchos ejércitos de la OTAN, con calibre de 7,62 mm, y después el estadounidense *M-16 A-1*, un fusil automático particularmente ligero y manejable (muchas piezas son de aluminio y plástico), dotado con cargadores de veinte o treinta disparos, calibre 5,56 mm.

Fusión nuclear

El físico nuclear Max Born, premio Nobel de Física, afirmaba un día que "si se descubre el medio de controlar la fusión termonuclear, la Humanidad gozará de un período en el que sus reservas de energía ya no serán valoradas en siglos, sino en eras geológicas".

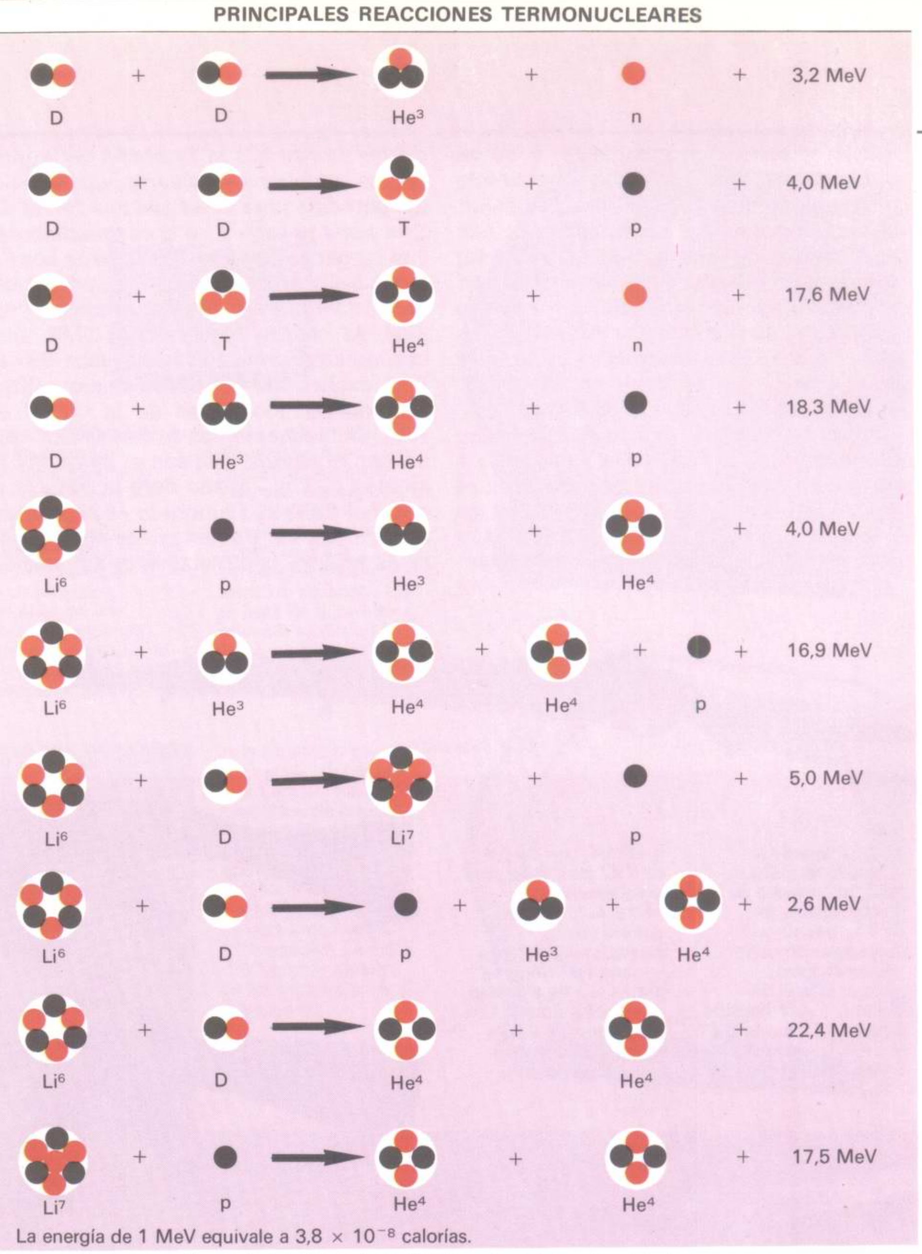
Hoy estamos todavía lejos del funcionamiento a escala industrial de los reactores de fusión controlada para la producción de energía eléctrica competitiva con respecto a las centrales eléctricas actuales. Pero el estado de las investigaciones y desarrollo de los experimentos al respecto permite augurar que ello se considera ya posible y puede ser alcanzable en dos o tres décadas.

La fusión termonuclear es la principal fuente de energía del Sol y las estrellas y constituye, por lo tanto, la fuente de la luz y del calor que han iluminado y calentado nuestro planeta, además de haber gobernado sus ciclos vitales, durante miles de millones de años. En efecto: en el interior del Sol se dan las condiciones de extraordinaria temperatura y altísima presión necesarias para la fusión del hidrógeno; sin embargo, el intento de reproducir este proceso en la Tierra —crear y controlar una estrella en miniatura— constituye uno de los proyectos científicos y tecnológicos más arduos que el hombre se ha propuesto hasta ahora.

La fusión es, básicamente, el proceso por el cual dos núcleos atómicos ligeros son comprimidos y aproximados hasta que se unen, formando un tercer núcleo diferente y más pesado. En el proceso tiene lugar la liberación de una gran cantidad de energía, y recibe el nombre de *termonuclear* porque sólo puede producirse a temperaturas extremadamente altas, de muchos millones de grados centígrados.

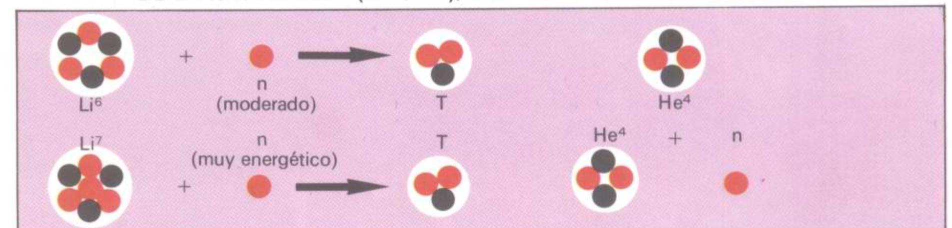
Los motivos principales por los que la fusión ha creado grandes esperanzas son que el "combustible" necesario, constituido por distintos isótopos del hidrógeno, es muy abundante en la Naturaleza y los subproductos radiactivos de la reacción son de menor cuantía y vida más breve que los originados en el proceso de la fisión nuclear, base de los actuales reactores atómicos.

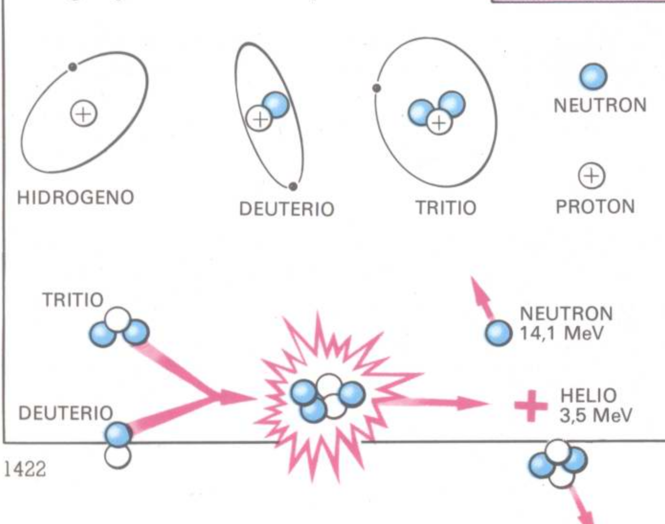
La energía de fusión El origen de la energía que se libera en el proceso de fu-

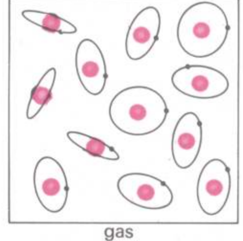


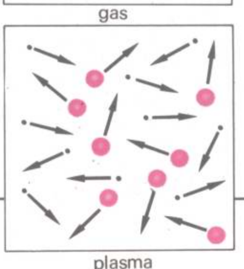
Claves: D (Deuterio); He (Helio); T (Tritio); Li (Litio); p (protón); n (neutrón).

REACCIONES DE FORMACION DEL TRITIO A PARTIR DEL LITIO DE LA NATURALEZA ($Li^6 + Li^7$), POR ACTIVACION NEUTRONICA

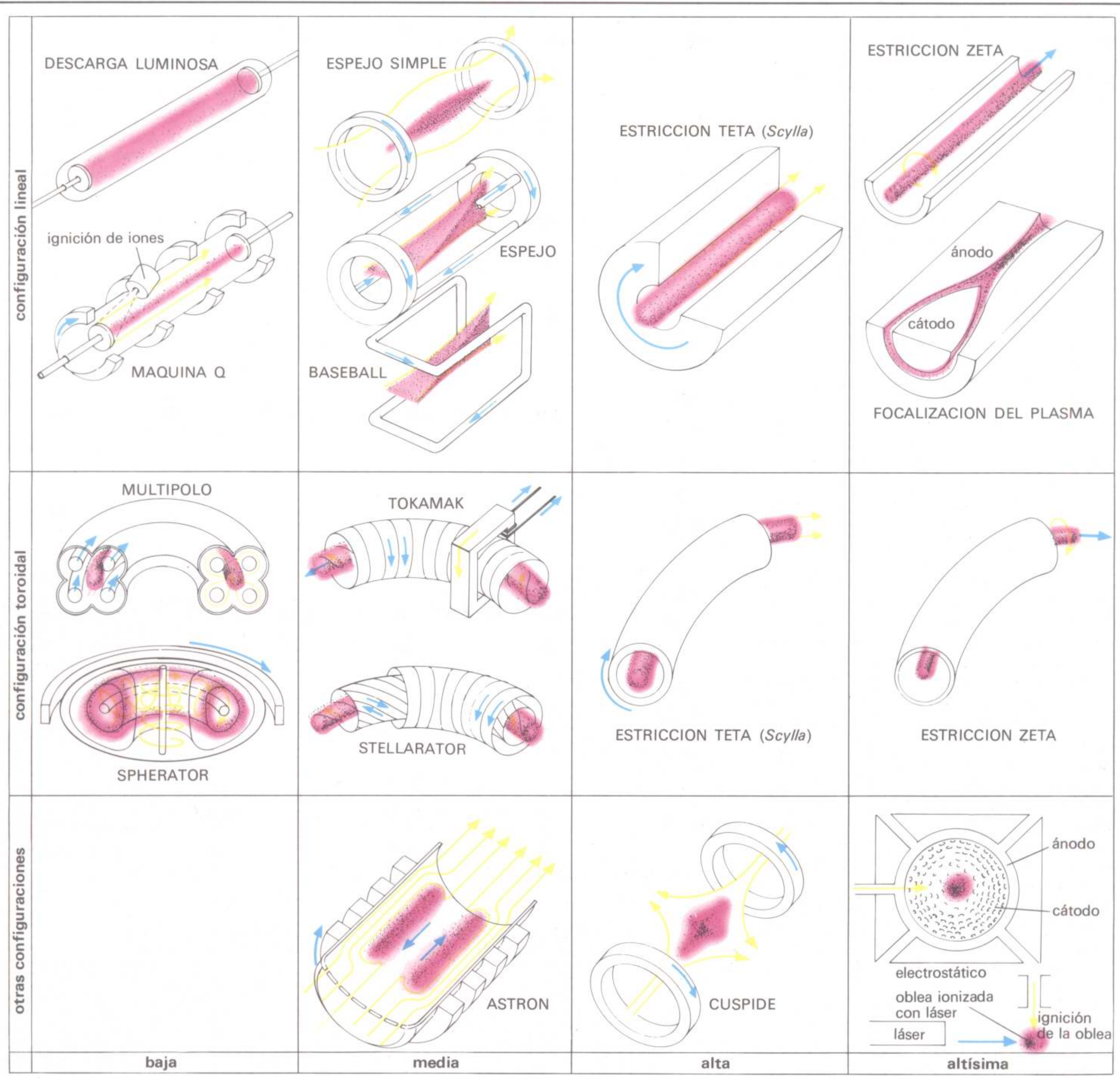








A la izquierda, átomo de hidrógeno, constituido por un protón como núcleo y un electrón en órbita alrededor de él. A continuación, los dos isótopos conocidos del hidrógeno: el deuterio, con un neutrón en el núcleo, y el tritio, con dos neutrones. A su derecha, configuración gaseosa normal del hidrógeno, en la cual los átomos gozan de gran libertad de movimiento, pero manteniendo su composición completa, y debajo, el mismo gas en condiciones de plasma, a altísima temperatura, en donde la nube de electrones está separada totalmente de los átomos. En el extremo inferior izquierdo se ve una reacción de fusión de núcleos de tritio y deuterio, previamente llevados al estado de plasma muy caliente para poder unirse. En la reacción se forma helio y se libera un neutrón y una gran cantidad de energía. Arriba, reacciones termonucleares que



pueden revestir importancia en los procesos de producción de energía por fusión. Hasta ahora, en los dispositivos experimentales se ha utilizado deuterio para evitar la manipulación del tritio radiactivo, pero es la tercera reacción, la del deuterio con el tritio, la que va a utilizarse en los últimos ingenios construidos, en los que se prevé llegar ya a las condiciones mínimas de ignición automantenida, ya que estas condiciones se consiguen para la citada reacción a unos 100 millones de grados, mientras que para la anterior haría falta una temperatura de al menos 590 millones. Si en el futuro llegara a desarrollarse el aprovechamiento de otras reacciones del cuadro, aunque su consecución es todavía mucho más compleja, podría obtenerse un reactor de fusión exento por completo de sustancias radiactivas. En cualquier caso, la densidad de energía suministrada por la fusión es todavía mayor que la proporcionada por la fisión y está exenta de los residuos radiactivos de alta actividad producidos directamente en este último proceso. La reacción del deuterio con el tritio, en particular, suministra una energía ocho veces mayor que la de fisión; así, la energía suministrada por la pequeña cantidad de deuterio existente en un litro de agua de mar equivale a la energía de la combustión de más de 600 litros de gasolina. El recuadro pequeño que aparece debajo del grande de la página anterior recoge dos reacciones de formación de tritio a partir del litio de la Naturaleza por activación neutrónica. En la primera se obtiene tritio y helio, al igual que en la segunda, en la que además se libera un neutrón. Arriba, algunas configuraciones experimentadas para obtener el "confinamiento" del plasma de fusión. Como se necesitan decenas de millones de grados, el gas tiende a dilatarse velozmente, reduciéndose así el tiempo en que conserva una densidad suficiente para que los núcleos experimenten la fusión.

sión está en la transformación de masa en energía procedente de los núcleos atómicos del proceso. Cuando se consigue fusionar dos núcleos muy ligeros para formar un núcleo mayor, la "energía de enlace" liberada para mantener unidas las partículas nucleares es mayor en el núcleo formado que en los iniciales, lo que significa que en la transformación ha habido un excedente de masa que se ha convertido en energía, según la fórmula de Einstein $E = mc^2$ (E, energía en ergios; m, masa en gramos; c, velocidad de la luz en cm por segundo). Así, por ejemplo, en la fusión de dos átomos del isótopo del hidrógeno denominado *deuterio* para formar un núcleo de helio se libera, en forma de energía, casi el uno por mil de su masa, y en la del deuterio con el tritio —consi-

derada como la más accesible por el momento de las reacciones de fusión para aplicar en un futuro reactor— se libera una cantidad de energía cinco veces superior.

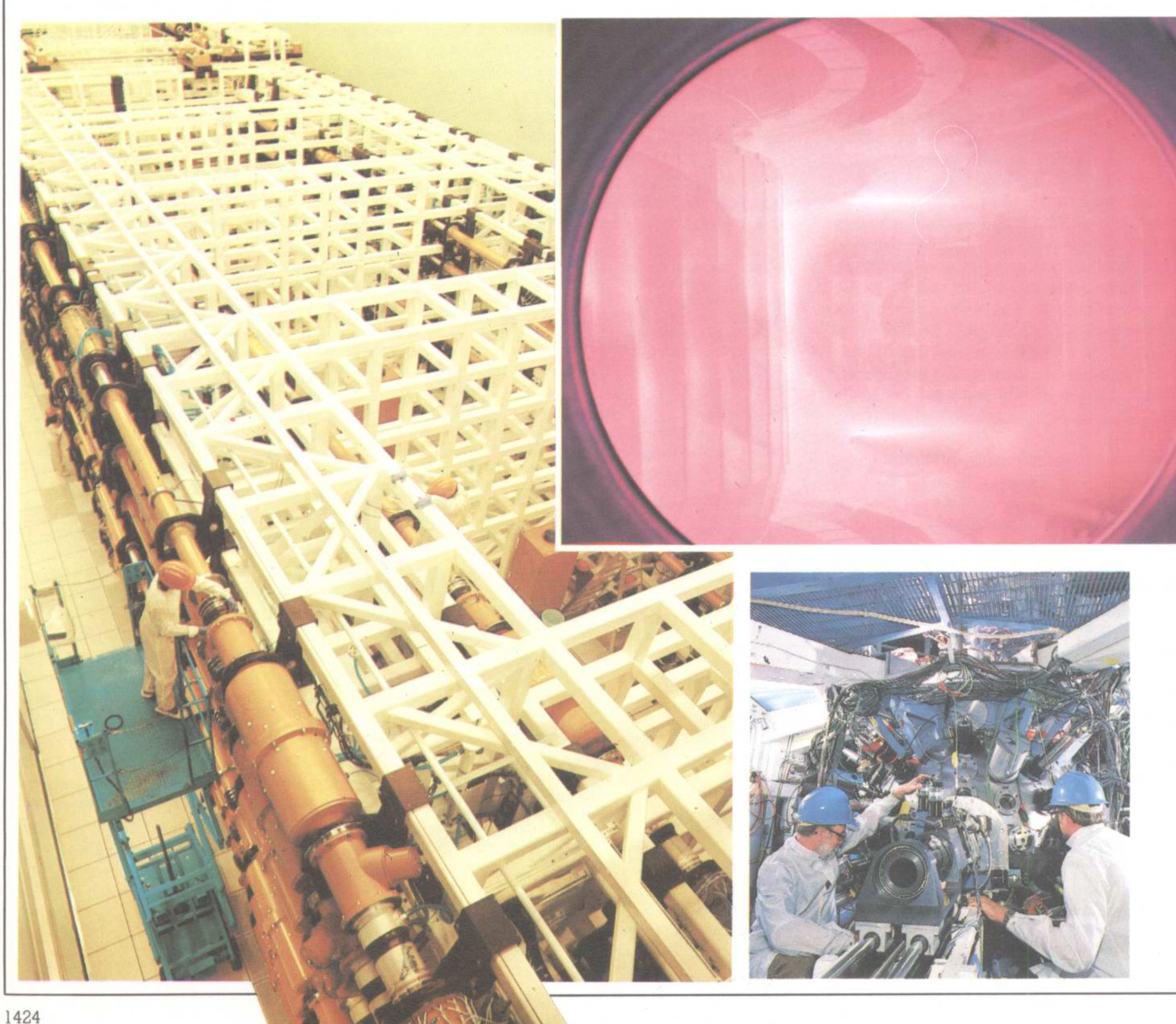
Exigentes condiciones de la fusión

El primer gran obstáculo que hace tan complejo el proceso de la fusión nuclear lo constituye el hecho de que para conseguirla hay que llegar a juntar partículas dotadas de una carga eléctrica de igual signo. Como es sabido, el núcleo atómico se compone de protones, con carga eléctrica positiva, y neutrones, sin carga. Al aproximar dos núcleos para unirlos, estas fuerzas de repulsión eléctrica entre los protones, llamadas *fuerzas electrostáticas de Coulomb*, que son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia, llegan a ser tan considerables que únicamente pueden ser vencidas a base de suministrar a los núcleos "blanco" una poderosa energía en forma de gran velocidad. Para ello, las sustancias a fusionar han de ser calentadas a temperaturas del orden de los cien millones de grados centígrados o más y ello ha de hacerse de una forma controlada para conseguir como objetivo su aprovechamiento energético. Para ponderar este nivel de temperatura, téngase en cuenta que en la atmósfera solar la temperatura es de unos 6.000 grados centígrados y que son también del orden de algunos miles de grados las temperaturas máximas manejadas hasta ahora en procesos industriales. A esas altísimas temperaturas, el gas de fusión está completamente ionizado, es decir, sus núcleos se hallan separados por completo de todos los electrones corticales que constituían el átomo. Un gas en estas condiciones se denomina *plasma*.

Pues bien, esa condición de temperatura mínima de tantos millones de grados es imprescindible para que pueda producirse la "ignición" del plasma entrando en fusión, pero no es suficiente para que se obtenga un automantenimiento de la reacción de fusión. Para lograr la fusión en forma continua se requieren, además, unas condiciones mínimas de "confinamiento" del plasma, mantenidas durante unos intervalos de tiempo suficientes. Estas condiciones pueden ser, dentro de unos márgenes, de mayor o menor densidad del plasma según sea el valor menor o mayor, respectivamente, del tiempo de "confinamiento".

En resumen, pues, las exigentes condiciones de la fusión pueden concretarse en dos: *temperatura* y *confinamiento*, llamándose así a la acción combinada del mantenimiento de una cierta densidad del

Bajo estas líneas, arriba a la derecha, cámara toroidal de un *Tokamak,* en la que, en condiciones de un alto vacío, la mezcla de deuterio y tritio se mueve "confinada" por intensos campos magnéticos y es calentada a decenas de millones de grados para producir su fusión nuclear. Abajo (izquierda), gran estructura en la que se apoyan las protecciones de los caminos ópticos del láser, con los que se obtiene la compresión de una gota de deuterio en un experimento de fusión termonuclear por "confinamiento inercial". Abajo, en la parte derecha, dos técnicos alinean los espejos de un dispositivo de rayos láser de potencia utilizado para producir el "confinamiento inercial" y calentamiento de una gota de hidrógeno para conseguir su fusión nuclear.



plasma durante un mínimo de tiempo suficiente.

En el interior del Sol y las estrellas, las condiciones de la fusión se dan por la confluencia de los siguientes factores: existencia de grandes cantidades de hidrógeno, enormes temperaturas y tremendas fuerzas gravitacionales que confieren gran presión y densidad al plasma de hidrógeno. En el Sol, 650 millones de toneladas de este elemento se fusionan por segundo transformándose en helio y generando su gran energía, hecho que ocurre desde hace ya miles de millones de años, y cuya duración se estima en, al menos, otros cinco mil millones de años todavía.

En las bombas explosivas de fusión, o bombas de hidrógeno, las condiciones de temperatura de ignición y "confinamiento" del hidrógeno se consiguen durante una fracción de segundo por medio de la explosión previa de una bomba de fisión, que sirve, a los efectos, como detonador.

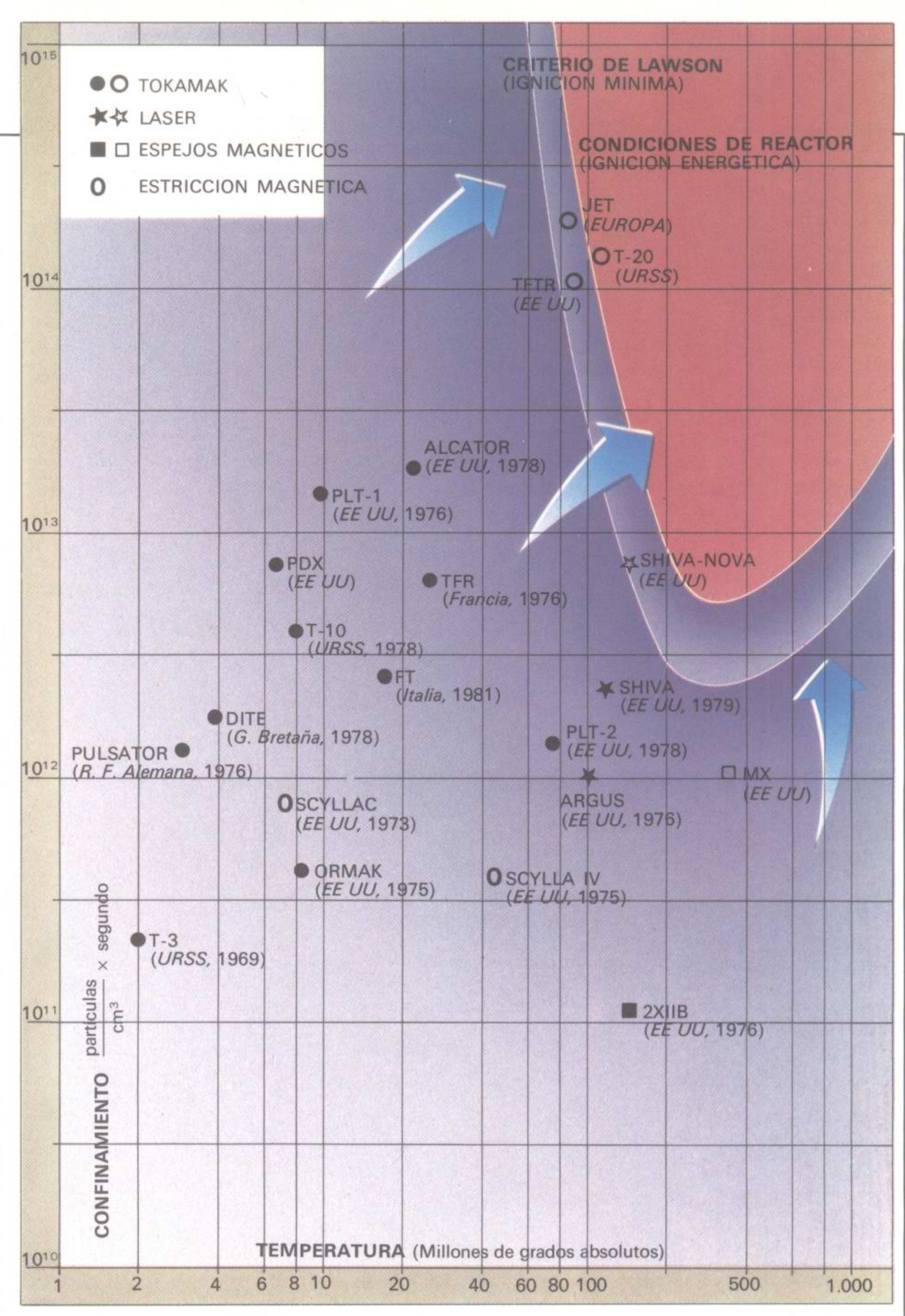
El "confinamiento" del plasma El "confinamiento" del plasma de fusión debe, pues, hacerse de una forma totalmente inmaterial y por tanto en una cavidad de alto vacío y mantener dicho plasma encerrado en una zona interior, a suficiente distancia de la primera pared material de la cavidad para que las temperaturas alcanzadas por ésta debidas a la energía liberada sean tolerables.

Además, tiene que cumplirse el llamado *criterio de Lawson*, que establece como condición mínima para la obtención de la reacción de fusión automantenida que el producto de la densidad del plasma, en partículas por centímetro cúbico, por el tiempo de "confinamiento", en segundos, ha de ser igual a un cierto valor, que es de 10^{14} para el caso de la fusión deuterio-tritio y superior para otras posibles reacciones nucleares de fusión.

Hay dos caminos básicos para el "confinamiento" controlado del plasma de fusión: el *"confinamiento inercial"* y el *"confinamiento magnético"*. En ambos, se requiere, además, la temperatura mínima de ignición, que es de 100 millones de grados centígrados para la reacción deuterio-tritio.

En el "confinamiento" inercial, unas pequeñísimas bolas de gas de hidrógeno, de alrededor de un milímetro de diámetro y una diezmilésima de gramo, son comprimidas por emisiones de rayos láser de alta energía simultáneamente en varías direcciones, produciéndose así el plasma, que se calienta además hasta la temperatura de ignición. El proceso se realiza de forma pulsante, en impulsos de una duración extraordinariamente pequeña. La densidad de partículas de plasma es alta, llegándose en su compresión hasta densidades de 1.000 a 10.000 veces la densidad líquida, y el tiempo de "confinamiento", por pulso, puede ser, en consecuencia, de tan sólo mil millonésimas de segundo o inferiores.

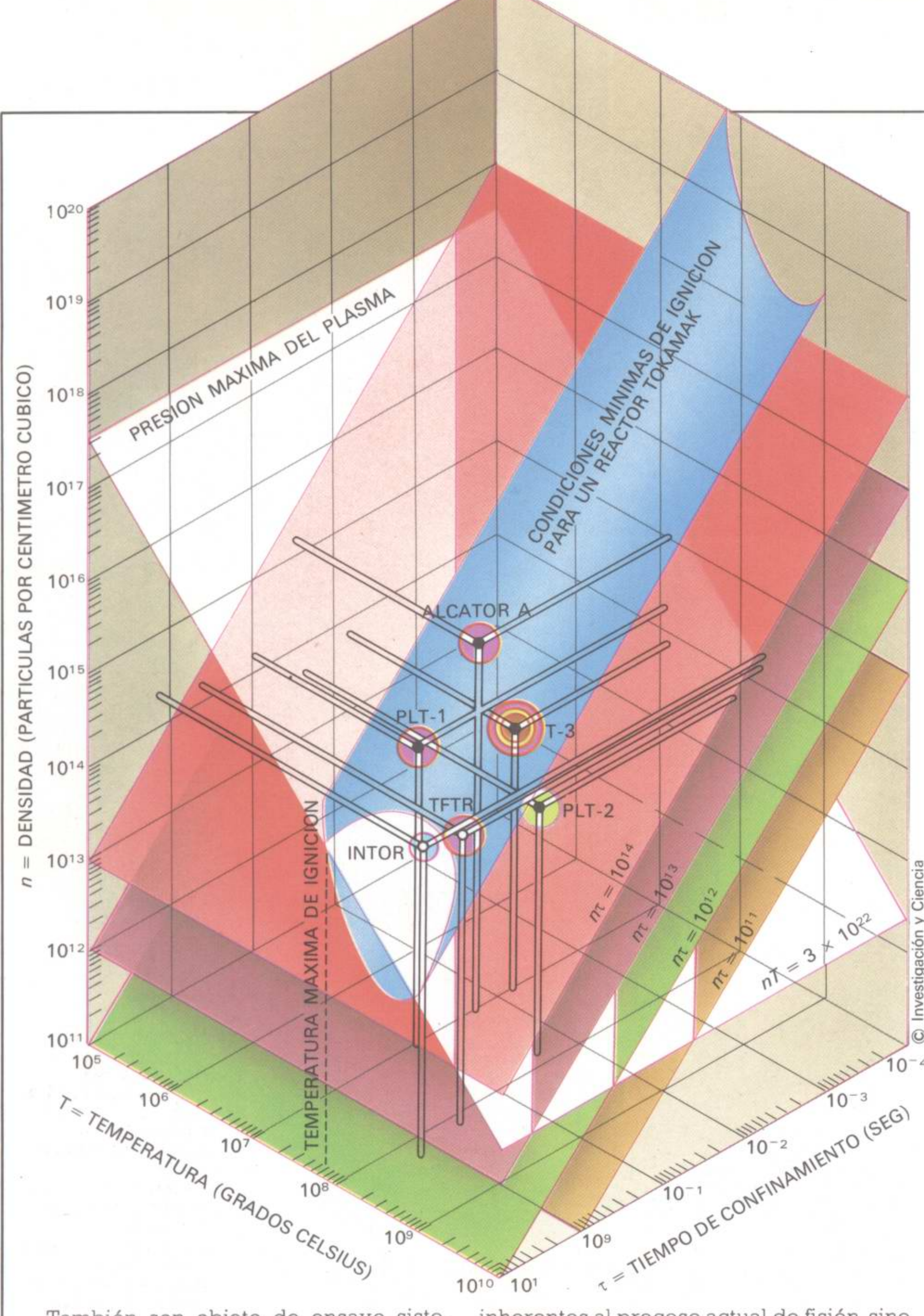
El "confinamiento magnético" consigue mantener el plasma encerrado en el vacío



En el diagrama se recoge un resumen de los principales experimentos de fusión nuclear llevados a cabo, habiendo previsto llegar en la década actual a las condiciones mínimas de reacción automantenida. Deberán, no obstante, construirse todavía máquinas más avanzadas que permitan alcanzar la zona rojiza del diagrama, para que pueda ser viable el aprovechamiento de la fusión como fuente de energía. En abscisas figura la temperatura alcanzada por el plasma de fusión y, en ordenadas, el "confinamiento", que es una combinación de la densidad del mismo por el tiempo en que se consigue mantenerla.

de la cavidad, sometiéndolo a la acción de un campo magnético creado en ella desde el exterior. Las partículas eléctricas del plasma están entonces obligadas a moverse siguiendo las trayectorias de este campo, que pueden ser abiertas, con lo que el plasma fluctúa a lo largo de ellas reflejándose, también de forma magnética, en sus extremos, o bien pueden cerrarse sobre sí mismas, en forma de rueda (o "toro"), describiendo entonces las partículas del plasma trayectorias aproximadamente circulares. El primer caso se denomina de *espejos magnéticos* (*Magnetic Tandem Mirror*) y puede funcionar de forma continuada, no pulsante. El segundo es el denominado *Tokamak* —acrónimo de las palabras rusas *Cámara Toroidal Magnética*— y constituye, por el momento, el sistema más prometedor para conseguir el primer reactor experimental de fusión de gran potencia.

Estos sistemas de "embotellamiento magnético", en los que la densidad del plasma es baja, requieren tiempos de "confinamiento" del mismo de 1 a 10 segundos para alcanzar las condiciones de reacción automantenida y necesitan de un calentamiento auxiliar, a base de haces de partículas de alta energía, o de ondas de radiofrecuencia también muy energéticas, para alcanzar la temperatura de ignición.



En este diagrama (izquierda) los parámetros densidad del plasma y tiempo de "confinamiento" se han desdoblado para obtener una representación espacial de las tres magnitudes que, adecuadamente combinadas, pueden dar lugar a las condiciones de fusión. La representación se ha realizado en papel logarítmico. El *Tokamak* (en la página siguiente) es el tipo de dispositivo más popularizado de entre los distintos ingenios que experimentan sobre la fusión nuclear, y sin duda el sistema pionero en el camino actual hacia la consecución del primer reactor nuclear de fusión de gran potencia. El sistema *Tokamak* consigue el "confinamiento" del plasma de fusión en una cavidad toroidal en forma de anillo, a base de intensos campos magnéticos, de muchos miles de veces superiores al de la Tierra, creados por grandes bobinas superconductoras, que trabajan a temperaturas próximas al cero absoluto. En la figura superior de la página siguiente puede verse un *Tokamak* abierto mostrando los arrollamientos de las bobinas alrededor de la cámara; y en los esquemas (debajo), representación espacial y en sección, respectivamente, de su funcionamiento. El deuterio puede obtenerse del agua, y el litio, abundante en la Naturaleza, puede emplearse para la generación del tritio. Los sistemas de vacío de la cavidad de fusión, inyección del combustible, extracción del helio e impurezas formadas, calentamiento auxiliar del plasma y extracción del tritio deben completar el diseño del futuro reactor →

También son objeto de ensayo sistemas de "confinamiento magnético" de alta densidad de plasma, llamados de *estricción*, aunque con resultados menos prometedores.

Fusión nuclear como fuente de energía A la cualidad de inagotable, prácticamente, cual era el sentido de la frase ya mencionada de M. Born, habría que añadir la de limpia, no contaminante, para representar las dos ventajas que caracterizan a la tan prometedora energía de fusión. En efecto: el deuterio es muy abundante en la Tierra, existiendo en la proporción de 34 partes por millón en el agua de mar, y el tritio puede obtenerse a partir del litio, elemento a su vez abundantísimo en la corteza terrestre.

Hay que matizar, sin embargo, que la afirmación de ausencia de radiactividad no es rigurosamente cierta para el caso de la fusión deuterio-tritio, aunque sí tiene un sólido fundamento, debido a que en ella no se producen los residuos radiactivos inherentes al proceso actual de fisión, sino solamente la radiactividad inducida por el flujo neutrónico, además de ser el tritio radiactivo.

La energía producida en la reacción de fusión del deuterio con el tritio se distribuye en un 80% para los neutrones producidos y un 20% para el helio formado. Los neutrones atraviesan fácilmente el plasma y pueden llegar a la primera pared material de la cavidad de fusión. Si allí hay un material adecuado, los neutrones dejarán su energía, produciéndose un calentamiento. Un circuito de refrigeración intercalado en él podría aprovechar ese calor para generar vapor, el cual accionaría los turboalternadores de producción de energía eléctrica, al igual que ocurre en cualquier otra central eléctrica de las actuales, de tipo térmico, convencional o de fisión. Si, además, se utiliza el litio en estado líquido en el circuito de calor, se obtendrá tritio, por activación neutrónica, en cantidad suficiente para regenerar el consumido por fusión.

Bajo esta perspectiva, puede concebirse la futura primera central nuclear de fusión de gran potencia a base de un reactor, del tipo *tokamak* probablemente, para la fusión del deuterio con el tritio a partes iguales, de hasta 3.000 ó 5.000 mil megavatios de potencia térmica total, con un circuito de refrigeración de litio —o algún compuesto del mismo—, en estado líquido a alta temperatura, para originar, con el correspondiente circuito secundario de producción de vapor, y considerando un rendimiento térmico realista del orden del 30%, una potencia eléctrica de entre 1.000 y 2.000 megavatios, equivalente o superior a las actuales de mayor potencia.

Esta central consumiría escasamente algunos kilogramos de combustible al día, produciéndose ella misma el tritio necesario. Al igual que las actuales centrales nucleares de fisión, no consumiría oxígeno, ni produciría monóxido y dióxido de carbono. Tampoco produciría residuos radiactivos directos de la fusión, aunque se generaría radiactividad, en mucho menor grado, debido a la presencia del flujo neutrónico, dando lugar, como principales residuos radiactivos, a los materiales provenientes de las piezas que, debido a sus exigentes condiciones de trabajo, habría que ir reemplazando periódicamente. Deberá finalmente poseer un blindaje neutrónico alrededor del núcleo y conseguir la hermeticidad de los circuitos de tritio, que es, a su vez, radiactivo.

Una larga y costosa trayectoria experimental Los primeros trabajos sobre la fusión nuclear controlada datan de 1952 y fue en 1963 cuando se propuso la utilización de los rayos láser para provocar el proceso. Sin embargo, el primer éxito que superó

las grandes dificultades encontradas inicialmente por los científicos en el estudio del "confinamiento" se consiguió en una máquina *tokamak* soviética, en 1969, lo cual infundió ánimo y optimismo a los científicos, —al tiempo que señaló a los dispositivos de fusión por "confinamiento" magnético cerrado (*tokamak*) como los primeros en su desarrollo—, y esperanzas de consecución del primer reactor nuclear de fusión.

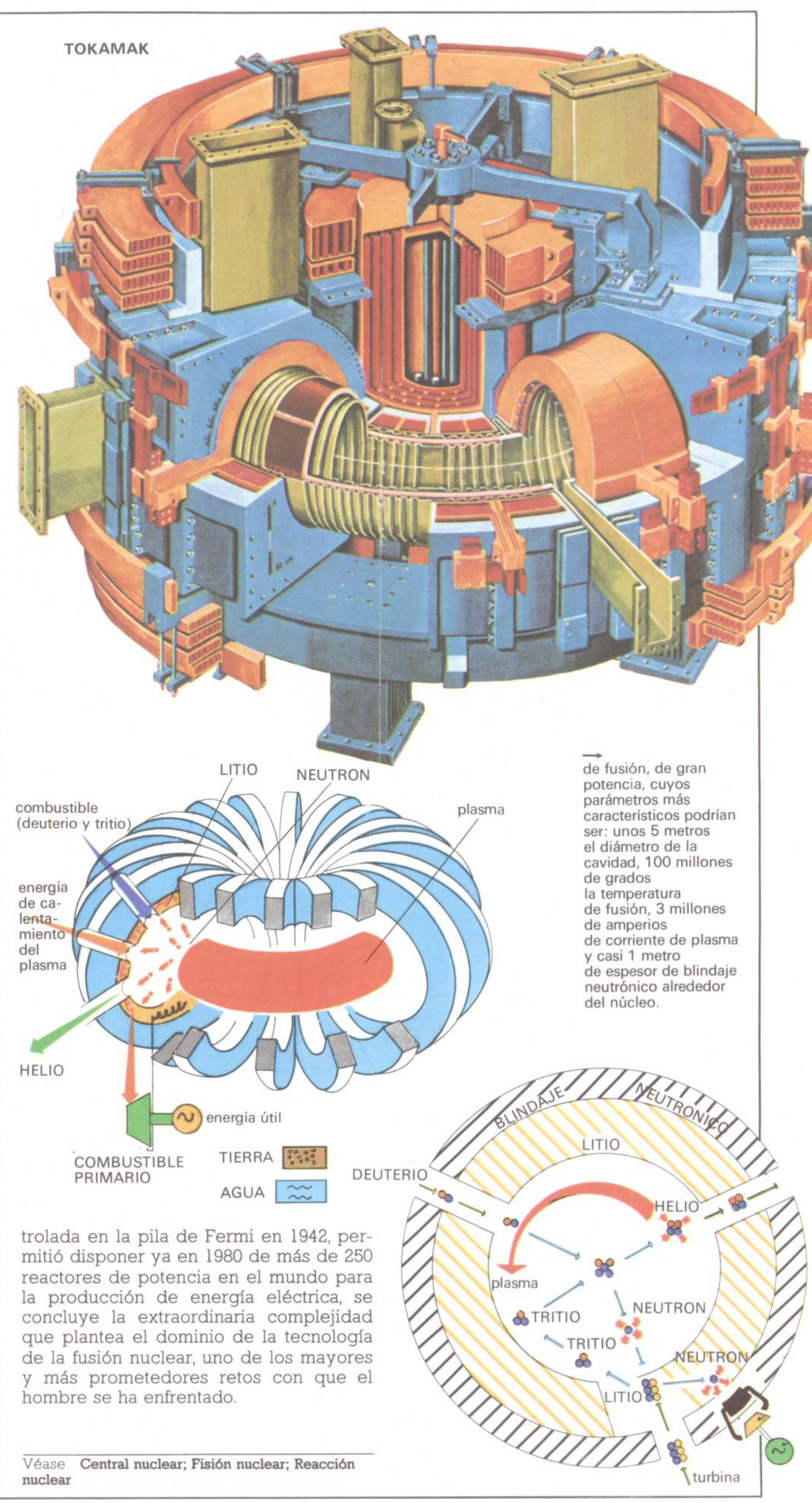
Desde entonces, los dispositivos experimentales en busca de un acercamiento hacia las condiciones de ignición automantenida se han ido sucediendo, al tiempo que han ido surgiendo gran variedad de problemas tecnológicos nuevos a resolver. Así, junto con la obtención de las condiciones mínimas de la reacción de fusión, se han ido abordando, y siguen aún desarrollándose, el estudio del comportamiento de materiales sometidos a flujos neutrónicos y de partículas de alta energía; el desarrollo de bobinas superconductoras trabajando a temperaturas próximas al cero absoluto; el desarrollo de rayos láser de gran potencia y de técnicas de alineación, de precisión; ensayos de desviadores de impurezas; utilización de haces de partículas y de microondas de alta energía, etc., todos ellos necesarios a la hora de planear un reactor de potencia.

En el momento actual son más del centenar los dispositivos existentes en el mundo en la investigación y desarrollo de la fusión, en más de una docena de países, principalmente en Estados Unidos, URSS, Gran Bretaña, Japón, República Federal Alemana, Francia e Italia. En la actual década de los 80, se espera llegar a las condiciones de fusión automantenida en algunos dispositivos de "confinamiento" magnético ya construidos, como el TFTR (*Tokamak Fusion Test Reactor*), en Princeton (EE UU), o el JET (*Joint European Torus*), en Culham (Inglaterra), promovido este último por la Comunidad Económica Europea, así como en otros en construcción avanzada, como el *Tokamak-20* soviético, o el *JT-60* japonés, y posiblemente en otros del tipo de "confinamiento inercial" (láser) como el *SHIVA-NOVA* estadounidense. Con excepción del *JT-60*, se va a utilizar ya en ellos la fusión de una mezcla de deuterio y tritio.

La demostración por estas máquinas de la viabilidad de la fusión automantenida permitirá emprender proyectos de reactores para la producción de energía a mayor escala, primeramente como prototipos, para pasar después al desarrollo de los grandes reactores de potencia, a los que hay que situar cronológicamente, con una perspectiva realista, al menos en los albores de comienzos de siglo.

Comparando, pues, la panorámica cronológica de esta larga trayectoria experimental, máxime teniendo en cuenta el avanzado momento tecnológico industrial de los últimos años, con la del desarrollo de la tecnología de fisión que, desde su descubrimiento en 1939 y consecución de la primera reacción nuclear de fisión controlada en la pila de Fermi en 1942, permitió disponer ya en 1980 de más de 250 reactores de potencia en el mundo para la producción de energía eléctrica, se concluye la extraordinaria complejidad que plantea el dominio de la tecnología de la fusión nuclear, uno de los mayores y más prometedores retos con que el hombre se ha enfrentado.

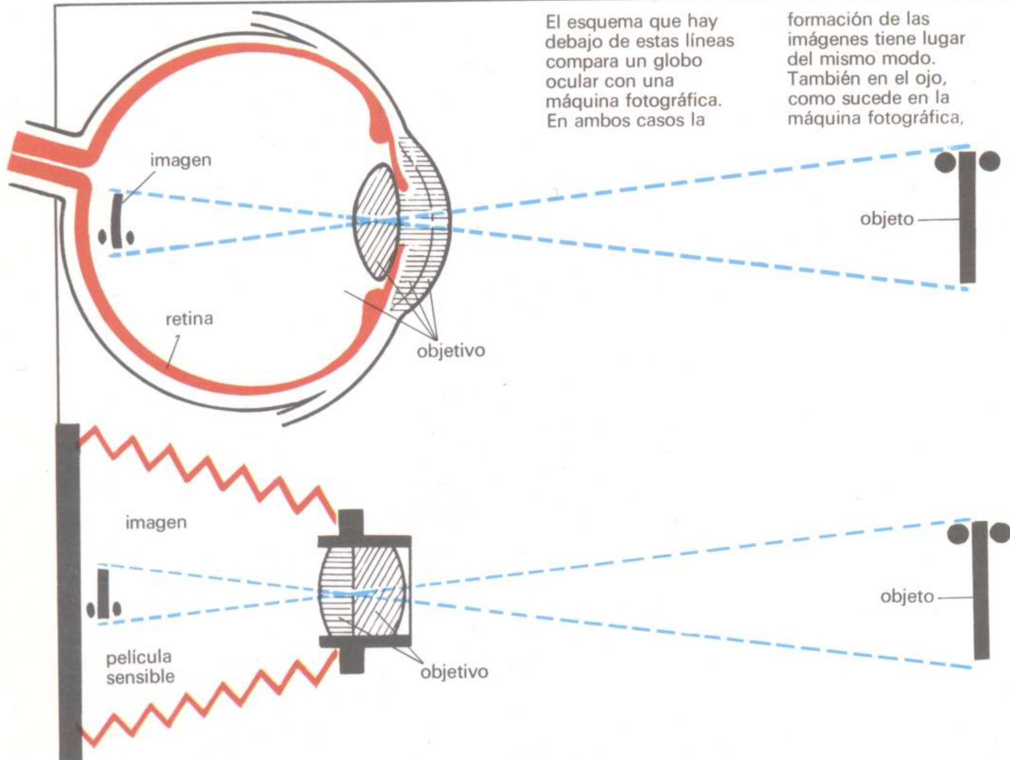
Véase **Central nuclear; Fisión nuclear; Reacción nuclear**



→ de fusión, de gran potencia, cuyos parámetros más característicos podrían ser: unos 5 metros el diámetro de la cavidad, 100 millones de grados la temperatura de fusión, 3 millones de amperios de corriente de plasma y casi 1 metro de espesor de blindaje neutrónico alrededor del núcleo.

Gafas

El esquema que hay debajo de estas líneas compara un globo ocular con una máquina fotográfica. En ambos casos la formación de las imágenes tiene lugar del mismo modo. También en el ojo, como sucede en la máquina fotográfica, la imagen de un objeto está reducida e invertida; los rayos luminosos, después de atravesar la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo, que juntos representan el *objetivo*, se proyectan en la retina, que hace las veces de película.



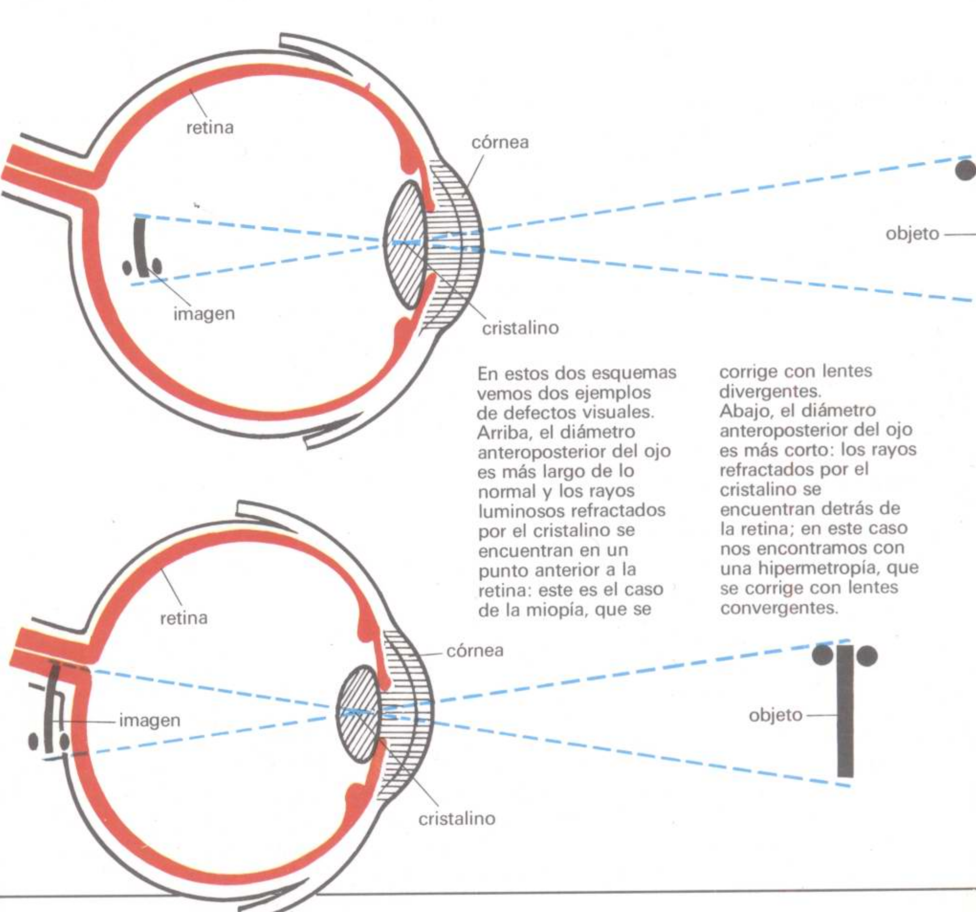
Las primeras gafas estaban formadas por trozos de vidrio pulimentado mantenidos juntos precariamente por medio de una estructura metálica, y su misión era la de ayudar de algún modo a quienes tenían dificultades en la vista para la lectura de manuscritos y textos, sobre todo en condiciones de escasa luminosidad. Existen distintas versiones en lo concerniente a la invención de las gafas: según algunos, tuvo lugar en el antigua China por obra de artesanos desconocidos; según otros, el hallazgo se debe a un monje toscano, Alejandro della Spina, que vivió en la Edad Media. A su vez, una tercera versión atribuye tal mérito al inglés Roger Bacon, monje y científico que vivió en el siglo XIII. Se piensa que el primer par de gafas fue construido tres siglos antes de la invención del telescopio y 500 años antes de la creación del primer aparato fotográfico. Se puede afirmar que actualmente las gafas son el más común de los instrumentos construidos con lentes que permiten al hombre resolver muchos de los graves problemas que pueden surgir como consecuencia de distintos defectos oculares.

Defectos visuales La luz que incide en nuestros ojos atraviesa primeramente un revestimiento externo transparente llamado *córnea*, la cavidad de la *pupila* y el *cristalino*, órgano en forma de disco que se encuentra detrás. Al igual que ocurre en todas las lentes de aumento, el cristalino hace converger la luz en la retina, órgano que constituye la "película" formada por células sensibles y situada en la zona posterior del globo ocular. Si la luz procede de un objeto situado a corta distancia, los músculos que rodean el cristalino son capaces de modificar su forma, permitiendo a este órgano variar su curvatura y reflejar la luz de modo más adecuado; este fenómeno sucede también si la luz procede de un objeto situado a distancia. Tal proceso recibe el nombre de *acomodación del ojo*.

A pesar de que el ojo es un órgano increíblemente sofisticado, no siempre funciona correctamente. Por ejemplo, si el bulbo ocular es un poco más pequeño de lo debido, o se encuentra ligeramente agrandado, el cristalino no es capaz de hacer converger exactamente la luz sobre la retina. Si el espacio es demasiado grande, la imagen se forma ligeramente por delante de la retina y no exactamente en ella; esto es lo que ocurre en la *miopía*. Por el contrario, si el globo ocular es demasiado pequeño, el cristalino hace converger los rayos luminosos por detrás de la retina y resulta por tanto una forma de *presbiopía* (o hipermetropía).

Si existe algún defecto en la curvatura de la córnea o del cristalino que provoque la concentración de los rayos luminosos en dos o más puntos, el resultado se conoce con el nombre de *astigmatismo*. Si una persona que padece este defecto observa un dibujo compuesto por líneas rectas colocadas en distintos ángulos, algunas de estas líneas resultarán confusas, mientras que otras serán bien vistas.

Con el transcurso de los años, el cristalino pierde elasticidad y cada vez le resulta más difícil el proceso de la acomodación. La solución para cada uno de es-



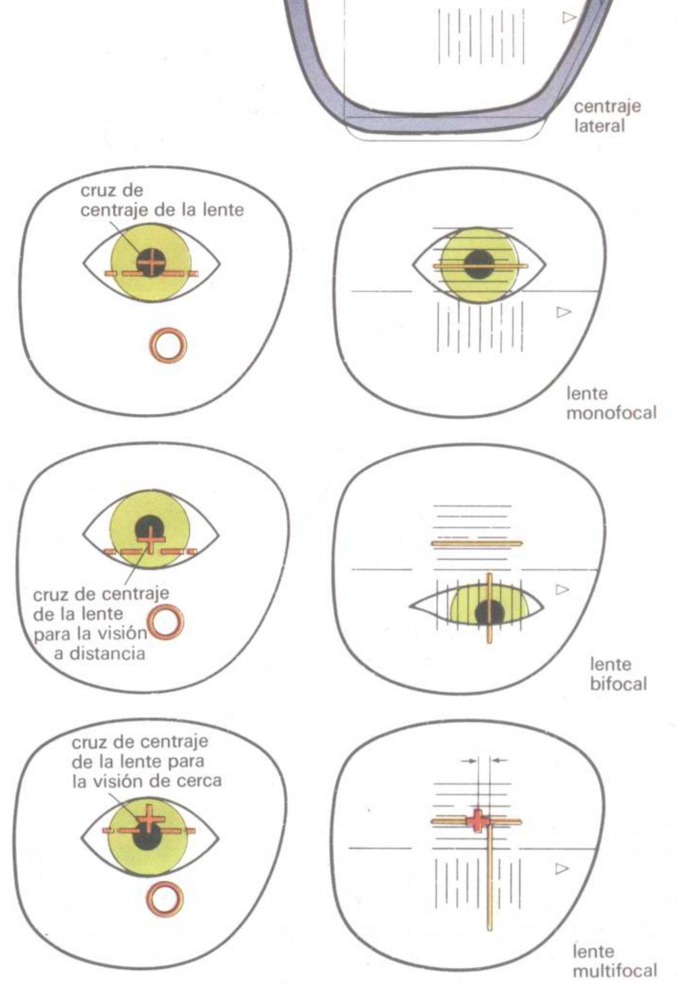
En estos dos esquemas vemos dos ejemplos de defectos visuales. Arriba, el diámetro anteroposterior del ojo es más largo de lo normal y los rayos luminosos refractados por el cristalino se encuentran en un punto anterior a la retina: este es el caso de la miopía, que se corrige con lentes divergentes. Abajo, el diámetro anteroposterior del ojo es más corto: los rayos refractados por el cristalino se encuentran detrás de la retina; en este caso nos encontramos con una hipermetropía, que se corrige con lentes convergentes.

tos defectos visuales consiste en la utilización de unas lentes correctoras adecuadas.

Gafas Las gafas están formadas por lentes de material sintético o de vidrio que modifican el recorrido de la luz de manera que logran corregir los defectos presentes en el ojo. Por ejemplo, las gafas para la miopía hacen que la luz procedente de objetos lejanos sea ligeramente divergente, es decir, más repartida, como si procediese de una distancia mucho más corta. De esta manera el ojo es capaz de enfocar correctamente el objeto en cuestión. Las lentes utilizadas para corregir la presbiopía funcionan basándose en el mismo principio.

Las lentes son el elemento esencial corrector de los defectos visuales. Su característica básica consiste en modificar la divergencia o la convergencia de los rayos luminosos procedentes de un objeto hacia el ojo, que así puede formar la imagen en la retina.



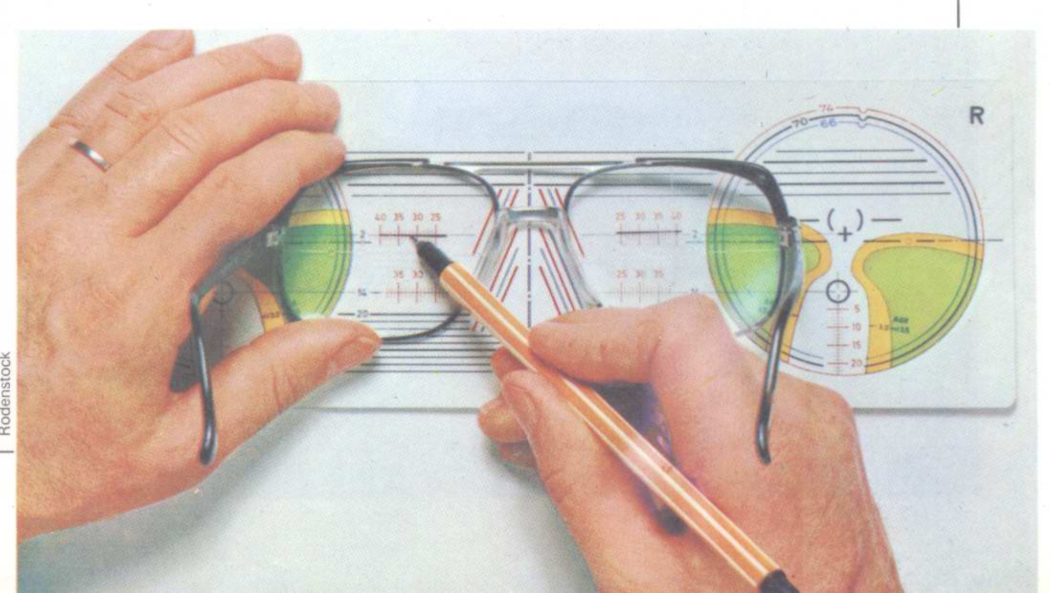


En el esquema de la parte superior derecha se ilustra el criterio del centraje de las lentes progresivas o multifocales. Se trata de lentes construidas de tal manera que permiten de modo gradual el correcto enfoque de un objeto desde lejos hasta distancias más próximas. Normalmente la lente se adapta al ojo de manera que el centro óptico corresponda al centro pupilar (arriba). Con las lentes progresivas, si la lente se utiliza preferentemente para la visión a distancia, es centrada 1 ó 2 mm por debajo del centro pupilar (en el centro) y 1 mm por encima si se utiliza para la visión cercana (abajo). A la derecha, desde arriba, ejemplos de medición de la distancia interpupilar para cada tipo de lente. Abajo, fase de control con montura, sobre una regla adecuada, para determinar el diámetro de la lente y la estabilidad del centraje.

Las personas más ancianas, cuya vista no puede ya corregirse perfectamente, son con frecuencia miopes y présbitas, capaces de ver claramente sólo en una determinada distancia que corresponde al estado de inmovilidad del ojo. Estas personas pueden utilizar un tipo particular de gafas con lentes bifocales, formadas por lentes que han sufrido una elaboración muy particular. Las lentes bifocales fueron inventadas por Benjamin Franklin, que detestaba la utilización continua de dos pares de gafas. Este primer par de gafas sigue siendo el modelo para la mayor parte de las lentes bifocales: Franklin colocó las lentes para la presbiopía en la parte más baja, en donde podía utilizarlas para la lectura, y las de la miopía en la parte superior, en donde podía utilizarlas para mirar alrededor.

La sencillez y la conveniencia de un par de gafas no significa sin embargo que las personas que las llevan estén satisfechas del todo. La estética y el deseo de una mayor comodidad han estimulado el desarrollo de las lentes de contacto (las cuales están más indicadas que las gafas en algunos tipos de astigmatismo). No obstante, a pesar de que cada vez hay más personas que utilizan las lentes de contacto, es bastante improbable que éstas puedan sustituir completamente a las gafas. La gente utilizará siempre las gafas para leer, protegerse del sol o por motivos especiales para los que no es posible adaptar fácilmente las lentes de contacto (por ejemplo, las gafas de protección utilizadas en los laboratorios). En sus distintas formas, este invento de los antiguos chinos o de artesanos europeos está probablemente destinado a perdurar para siempre.

Véase **Lente; Lentes de contacto; Ojo**



Galaxia

En la novela de James Joyce *Retrato del artista adolescente*, el protagonista, Stephen Dedalus, en un momento de ocio escribe sobre un libro su nombre y dirección con gran detalle:

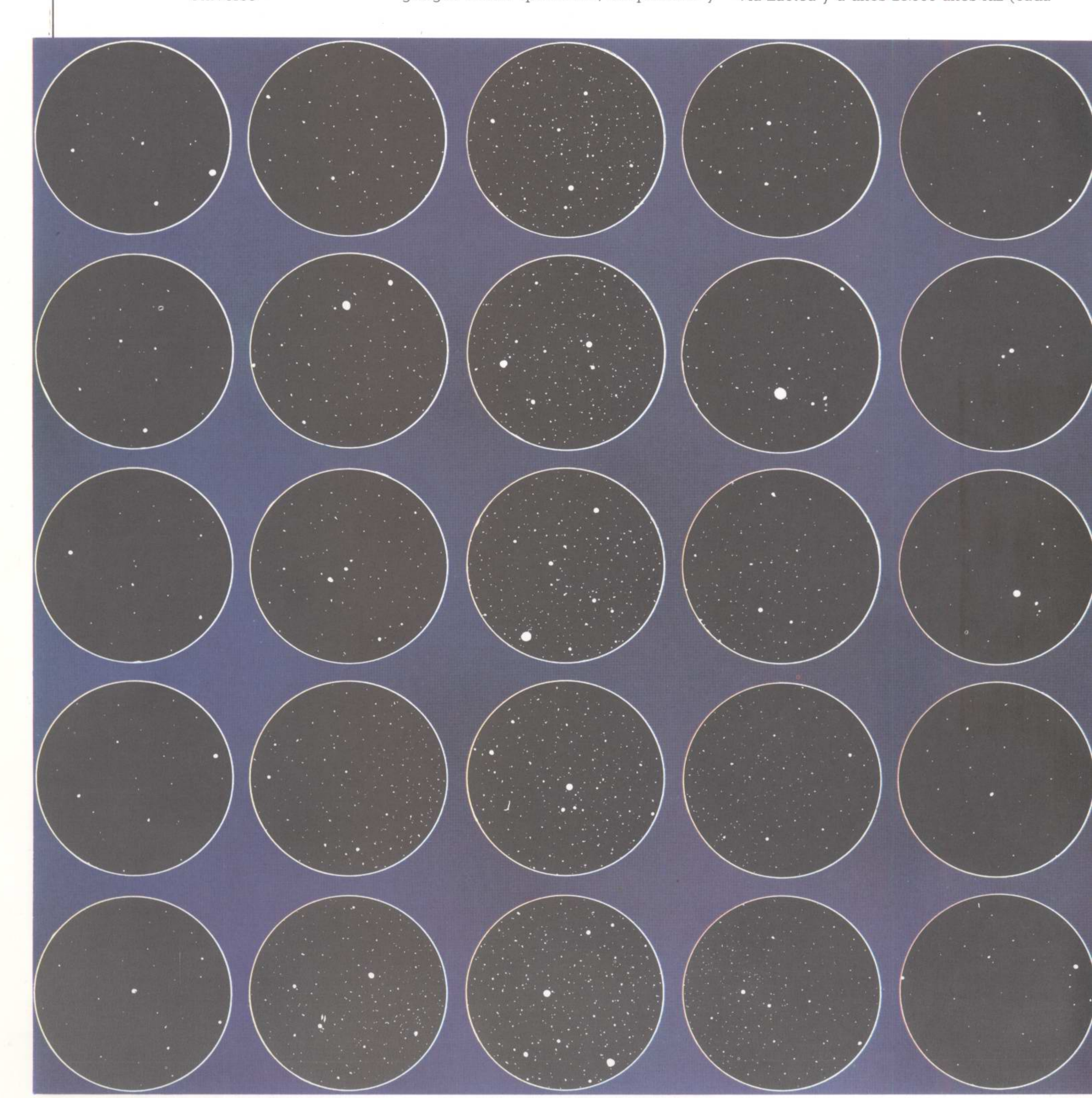
Stephen Dedalus
Escuela Elemental
Clongowes Wood College
Sallins
Condado de Kildare
Irlanda
Europa
Mundo
Universo

Faltarían dos elementos en el caso de que Stephen hubiese confiado en que algún cartero cósmico le hubiese devuelto su libro. Después de "Mundo", debería haber añadido "Sistema Solar" y "Galaxia de la Vía Láctea", ya que, de otro modo, el cartero no hubiese podido saber de cuál de los 200 mil millones de galaxias del Universo se trataba, ni, en la Vía Láctea, cuál de los 400 mil millones de estrellas contaría con el "Mundo" como uno de sus planetas.

La ciencia ha evolucionado mucho desde los tiempos en que los astrónomos griegos creían que el Sol, los planetas y el firmamento —de estrellas fijas— giraban alrededor de la Tierra describiendo círculos.

En los siglos XVI y XVII, genios como Copérnico, Galileo, Kepler y Newton demostraron que la Tierra no era el centro del Universo, ya que ella misma giraba —al igual que los demás planetas— alrededor del Sol.

Pero fue necesario esperar a la primera mitad del siglo XX para que los astrónomos establecieran que el Sol, a pesar de todo, era en realidad una estrella muy común, situada en una zona periférica de la Vía Láctea y a unos 28.000 años-luz (cada

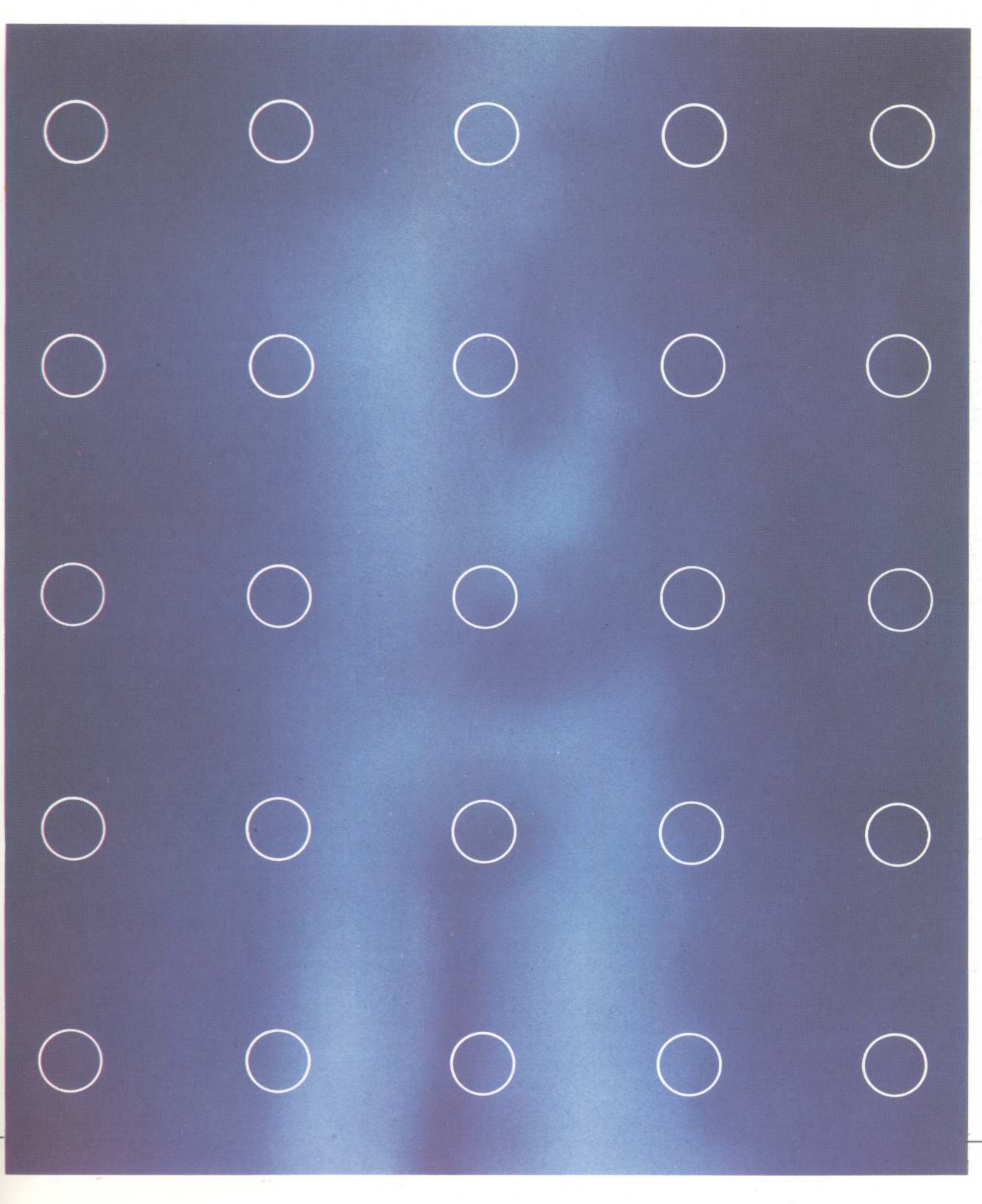


año-luz es aproximadamente 10 billones de kilómetros) del centro de la galaxia.

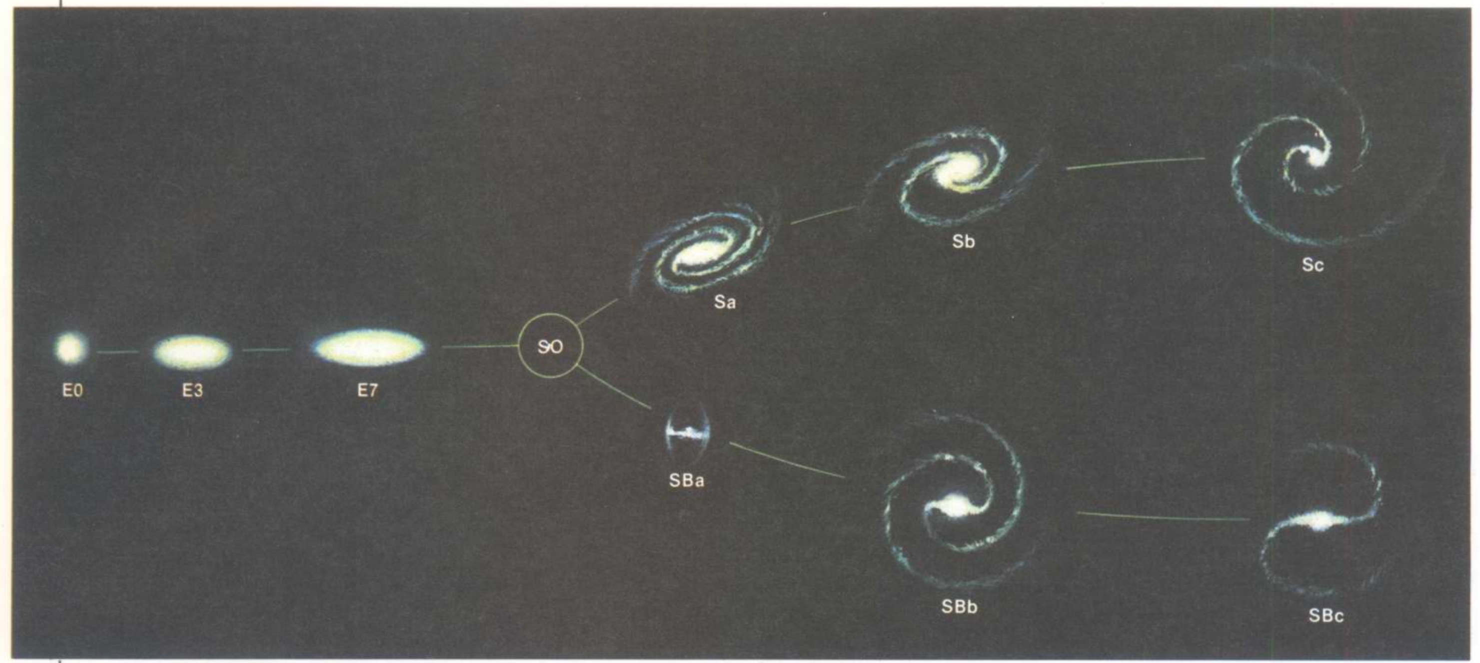
Nuestra galaxia: brazos espirales y un núcleo central Una galaxia es una agrupación de hasta varios cientos de millones de estrellas que giran alrededor de un centro, llamado *núcleo*.

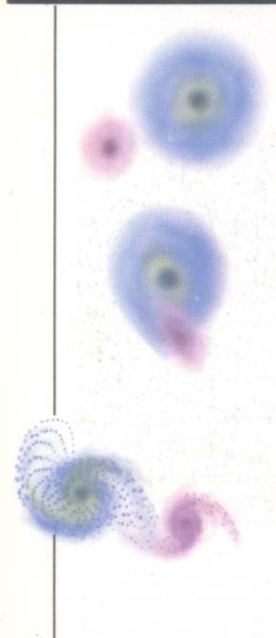
Las galaxias, como veremos más adelante, pueden ser de varios tipos. La nuestra pertenece a la clase de galaxias espirales y sus diversos "brazos", constituidos por miles de millones de estrellas, surgen de un núcleo central densamente poblado de estrellas. Si pudiéramos verla desde arriba, parecería un enorme molinillo girando sobre sí mismo en el espacio. Vista de perfil, presentaría la forma de una gigantesca rueda de una vieja carroza, que se dilata en el centro como si del buje de la rueda se tratara. La rueda está formada por una densa y definida concentración de estrellas, aunque, por encima y por debajo del plano galáctico, estrellas aisladas y más dispersas la envuelven en un "halo" aproximadamente esférico. Las estrellas del halo están, en su mayoría, distribuidas en agrupaciones que abarcan desde algunos miles hasta un millón de estrellas y que se conocen como *cúmulos globulares*; también en el interior del disco hay agrupamientos similares, aunque mucho más pequeños, y que son conocidos como *cúmulos abiertos*.

Con excepción de tres pequeñas manchas luminosas, una visible en el hemisferio norte y las otras dos en el hemisferio sur, todos los cuerpos celestes visibles a simple vista forman parte de nuesta galaxia (las tres manchas corresponden a galaxias lejanas y las examinaremos más adelante). En el campo, en una noche de cielo despejado y oscura, puede apreciarse una banda lechosa —de ahí el nombre de Vía Láctea— que se proyecta como un



A finales del siglo XVIII el astrónomo Herschel pensó que, aunque no se podía medir la distancia de las estrellas, sí se podía ver de qué forma se distribuían en el espacio, contando el número de estrellas débiles que podían observarse en el campo de un potente telescopio. Con este fin, se dedicó a observar el firmamento en puntos prefijados. Con la ayuda del telescopio, Herschel contaba el número de estrellas débiles visibles en el campo del ocular. El cielo se le aparecía como se muestra en los campos visuales representados en la página anterior. Se aprecia cómo en los campos de la columna central las estrellas, sobre todo las más débiles, son más numerosas y su densidad disminuye hacia los bordes; en las dos columnas extremas las estrellas son raras. A partir de estas observaciones, que Herschel llamó "sondeos celestes", dedujo que la zona del Universo estrellado que nos rodea debía tener la forma aproximada de un disco. El Sol se encuentra en el plano de simetría de dicho disco y si miramos a nuestro alrededor según el plano ecuatorial de éste, aparecen numerosas estrellas; a este fondo de mayor concentración estelar le llamó *Vía Láctea*. En esta página puede verse cómo a lo largo del eje de la Vía Láctea hay una zona oscura con pocas estrellas. Desconociéndose que esto era debido a acumulaciones de polvo que absorbían la luz de las estrellas, se pensó en una menor extensión de la galaxia en dicha dirección.







Arriba, clasificación de las galaxias realizada por E. Hubble. Las galaxias dispuestas en fila comprenden las esféricas y elípticas compactas; la secuencia se divide después en dos ramas a lo largo de las cuales se encuentran las espirales normales (arriba) y las barradas (abajo). A la izquierda se representan posibles choques de galaxias simulados por ordenador. Por lo general, la galaxia de masa menor y más compacta origina daños mayores en la más grande. Con estos simulacros se estudian e interpretan las formas de las galaxias interactivas más extrañas, como la M 51 de la foto sobre estas líneas.

arco sobre nuestras cabezas. A los griegos de la Antigüedad, esta banda luminosa les recordaba un reguero de leche, y le dieron el nombre de *Galaxia Kuklos* ("*círculo lácteo*"). Los romanos variaron un poco su nombre en latín, y la denominaron *Via Lactea*, como hoy la conocemos.

Cuando se inventó el telescopio, a comienzos del siglo XVII, se descubrió que la Vía Láctea estaba constituida en realidad por un número de estrellas aparentemente infinito que, dada su lejanía y al ser observadas sin instrumentos adecuados, no podían ser distinguidas como cuerpos aislados y separados entre sí. Hacia finales del siglo XVIII, William Herschel, un astrónomo inglés, realizó un cuidadoso examen del cielo tal y como se ve desde Inglaterra. Dividió el firmamento en 683 secciones y realizó una laboriosa enumeración de las estrellas visibles en cada una de esas secciones. De este modo descubrió que la concentración de estrellas iba aumentando de una zona a otra a medida que éstas se acercaban a la Vía Láctea. Según aproximaba la orientación de su telescopio a la perpendicular del plano galáctico, el número de estrellas disminuía radicalmente. Con gran intuición, Herschel dedujo que este fenómeno podía ser fácilmente explicado si suponíamos que la Tierra se encontraba en el plano central del vasto conglomerado de estrellas que era nuestra galaxia. Su estimación de las dimensiones de la galaxia era demasiado baja —la imaginó como un gigantesco elipsoide cuyo diámetro mayor medía unos 8.000 años-luz (7,56 × 10^{16} km aproximadamente), mientras que el inferior medía, según él, 1.500 años-luz (1,41 × 10^{16} kilómetros aproximadamente).

Desde finales de los años veinte de nuestro siglo hasta la actualidad, la mayor parte de los científicos ha calculado que las dimensiones de la "rueda" galáctica son: 100.000 años-luz (9,46 × 10^{17} km aproximadamente) de diámetro, y 16.000 años-luz (1,51 × 10^{17} km aproximadamente) de espesor en el núcleo central; espesor que va disminuyendo y que alcanza una quinta parte de su valor en la zona correspondiente a nuestro Sol. A principios de la década de los ochenta, el astrónomo norteamericano Bart J. Bok, una de las principales autoridades en el estudio de nuestra galaxia, realizó un informe sobre una reciente investigación llevada a cabo por un astrofísico estonio, llamado Einasto, en la que se estimaba que la masa total de la galaxia podría ser igual a 900 mil millones de veces la de nuestro Sol. Esta estimación ha sido experimentalmente reexaminada tomando como base una nueva hipótesis formulada por Einasto, según la cual podría existir una componente de la galaxia, hasta ahora desconocida, que se extendería mucho más allá del halo. Einasto propuso para ella el nombre de *corona*, y calculó que se extiende hasta un radio no inferior a 100.000 parsec (es decir, 326.000 años-luz, o sea, de 3,08 × 10^{18} km aproximadamente).

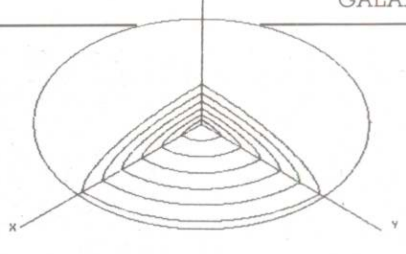
Esto significa que nuestra Galaxia podría ser, por lo menos, siete veces mayor de lo que se pensaba hasta ahora. Esta enorme masa puede justificarse con la existencia de una gran cantidad de estrellas térmicamente muertas y situadas más allá de los límites visibles de la galaxia. Los astrofísicos afirman al respecto que

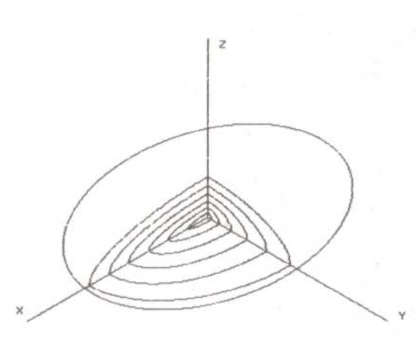


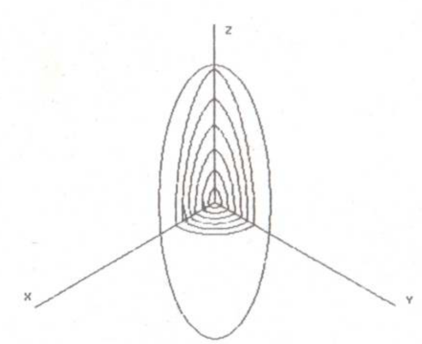
Este esquema muestra el posible proceso de formación de una galaxia a partir de una nube de gas original. Arriba, las pequeñas nubes de gas se encuentran todavía alejadas; en ellas ya se han formado estrellas, que se reagrupan en cúmulos globulares, pero la mayoría de la materia está aún en forma de gas y la gravitación actúa sobre el conjunto, haciéndolo cada vez más compacto. En el centro, las distintas acumulaciones gaseosas están en fase de acercamiento o ya se han acercado; sin embargo, las estrellas y los cúmulos continúan dispersos. Al ir acercándose al centro de gravedad del sistema, el pequeño momento angular (*spin*) que poseían al principio los hace girar. De esta manera termina formándose un gran disco de gas y polvo en el centro del sistema: la velocidad de rotación del disco es pequeña en la periferia y en el centro del mismo, siendo mayor en la zona intermedia, de lo que resulta una forma en espiral dentro de un volumen elipsoidal. La galaxia queda finalmente constituida por tres sistemas interconectados: las estrellas, los cúmulos y el disco. Este último constituye la parte más pequeña y densa del sistema; las estrellas y los cúmulos forman un halo alrededor del mismo.

muchas otras galaxias del Universo están igualmente caracterizadas por una gran cantidad de material oscuro que rodea a la parte visible.

El conocimiento de la Vía Láctea evolucionó lentamente durante los años que siguieron a las investigaciones de Herschel, principalmente porque nuestra minúscula Tierra está de tal modo sepultada en la inmensidad de la galaxia que gran parte de la misma queda fuera del alcance de los telescopios. El desarrollo de la Radioastronomía durante los últimos cincuenta años ha permitido a los científicos disponer de una nueva técnica de investigación. La materia situada mucho más allá de los límites del Sistema Solar, incluidas las vastas nubes de polvo interestelar, obstaculiza las observaciones ópticas del núcleo galáctico, pero no interfiere las señales de radio que de allí nos llegan. Por lo tanto, los astrónomos han podido finalmente realizar un mapa estelar de nuestra galaxia, relativamente preciso, mediante un cuidadoso examen de su núcleo con radiotelescopios.

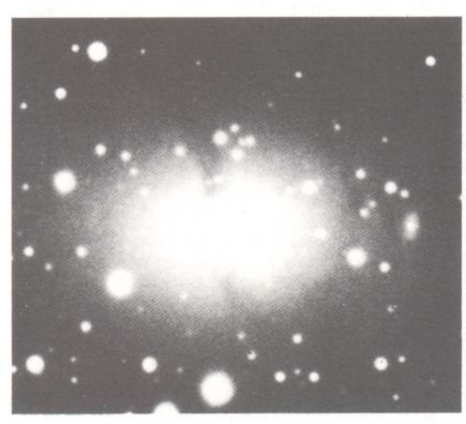


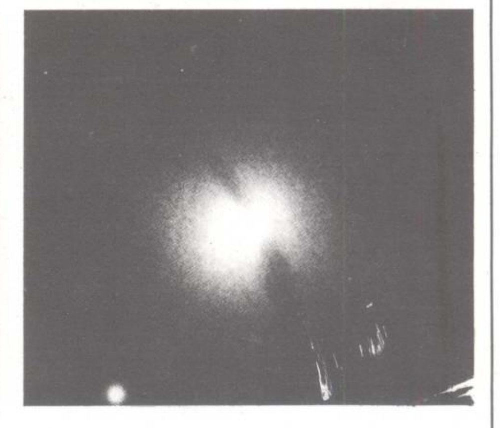




La extensa envolvente, poblada de estrellas débiles, que se encuentra alrededor de las galaxias y que recibe el nombre de *halo* o *corona* resulta invisible a la observación óptica, especialmente en las galaxias más lejanas. A efectos de la clasificación basada en las formas, los astrónomos tienen en cuenta casi exclusivamente la parte central: el disco.

Arriba y a la izquierda se muestran las tres formas que éste toma generalmente: forma de lente (elipsoide aplastado); forma de puro (elipsoide alargado); forma de elipsoide de tres ejes (o de almendra). Las fotografías de abajo muestran dos galaxias, la IC 4370 (a la izquierda) y la NGC 5266 (a la derecha): ambas tienen una forma similar, de elipsoide alargado.





La materia interestelar En cualquier lectura que consultemos acerca de la Vía Láctea, encontraremos referencias sobre el medio interestelar, relativas a la materia física y a las varias formas de radiación (luz visible, ondas de radio, etc.) que existen en el espacio entre las estrellas. Dicha materia está constituida en un 99% por gas, principalmente hidrógeno, junto a un 1% de partículas sólidas microscópicas, el polvo interestelar, que es la materia a partir de la cual se forman las nuevas estrellas. Durante los últimos años, los astrónomos han identificado aproximadamente 40 moléculas diferentes en el espacio interestelar, entre las cuales se pueden citar las de vapor de agua y algunas moléculas orgánicas (que contienen carbono). El estudio de estas últimas resulta fascinante, pues se ha comprobado que contienen muchos de los principales componentes de la vida, tal y como hoy los conocemos en la Tierra.

A lo largo de todo el Universo existen vastas concentraciones de gases —sobre todo de hidrógeno— y polvo conocidas como *nebulosas* (o *nebulae*). Hay dos tipos de nebulosas bien diferenciados: las *nebulosas de emisión*, cuyos átomos se encuentran excitados por la presencia de estrellas cercanas y emiten radiaciones

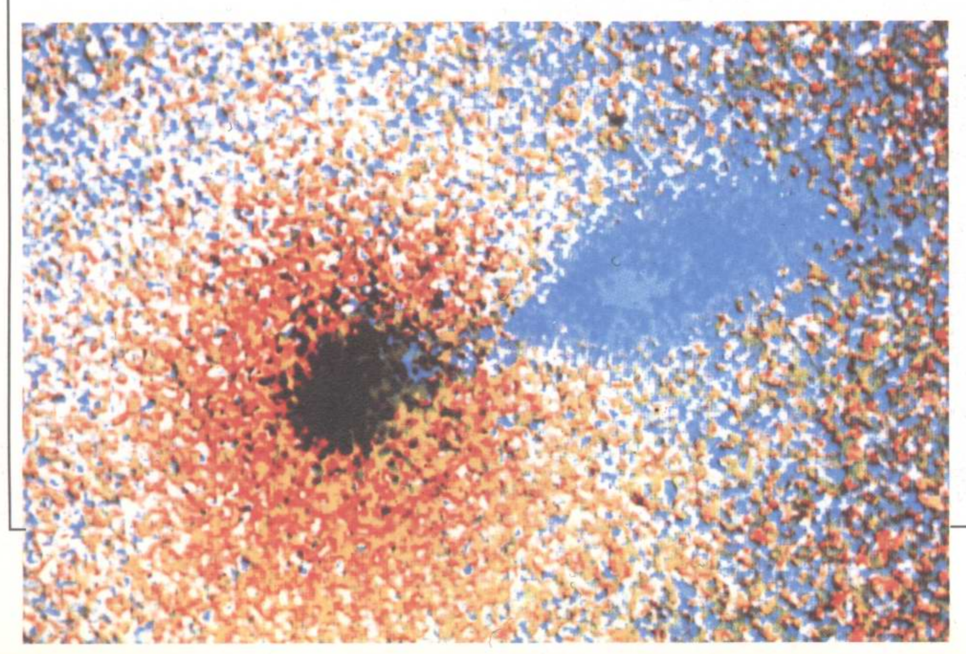




propias, y las *nebulosas oscuras*, o *de reflexión*, que sólo reflejan la luz que reciben de las estrellas. Al primer tipo pertenece la MY 2, en la zona de Orión, la más bella nebulosa del cielo, cuyo suave color verdoso sugiere una esmeralda en estado de vapor. Entre las nebulosas oscuras están las de Cabeza de Caballo y Saco del Carbón, en la Cruz del Sur.

Las estrellas de población I y II Representando en el diagrama de Hertzsprung-Russell la luminosidad y temperatura correspondientes de miles de estrellas de nuestra galaxia, los astrónomos han podido determinar que las estrellas relativamente jóvenes, conocidas como *estrellas de la población I*, se encuentran localizadas en su mayor parte en los brazos espirales, inmersas entre las nubes de polvo y gas a partir de las cuales se formaron originariamente. Las *estrellas de población II*, que son mucho más viejas, se encuentran en las proximidades del núcleo galáctico y en el halo. Estas estrellas, compuestas casi íntegramente por hidrógeno y helio, se formaron al mismo tiempo que la galaxia.

A una distancia de unos 20 millones de años-luz se encuentra la galaxia M 82, representada en las cuatro imágenes superiores. En la de la izquierda, se halla representada tal y como puede verse con un gran telescopio: parece una galaxia normal, elíptica y vista de perfil. Pero si partimos del negativo para después seguir un tratamiento electrónico de la imagen, puede verse (a medida que nos desplazamos en la secuencia hacia la derecha) que desde su núcleo son expulsados enormes filamentos de materia (de una extensión de unos 10.000 años-luz), que evidencian la existencia de un poderosísimo mecanismo de producción de energía en su centro. En la fotografía situada justamente bajo estas líneas se muestra una imagen del centro de la galaxia M 87 de Virgo, situada a una distancia de unos 70 millones de años-luz. Desde el centro de la galaxia se ve salir un enorme chorro de gas luminoso. Si se evalúa la potencia necesaria para producir un chorro de esas características, se llega a la conclusión de que sólo puede ser producido por un gran cúmulo de galaxias, precisamente el de Virgo. Las galaxias tienden a reagruparse en cúmulos; también la nuestra —la Vía Láctea— forma parte de un pequeño cúmulo, llamado *Grupo Local*, que comprende también la Gran Nebulosa Espiral de Andrómeda, conocida también como M 31 o NGC 224.

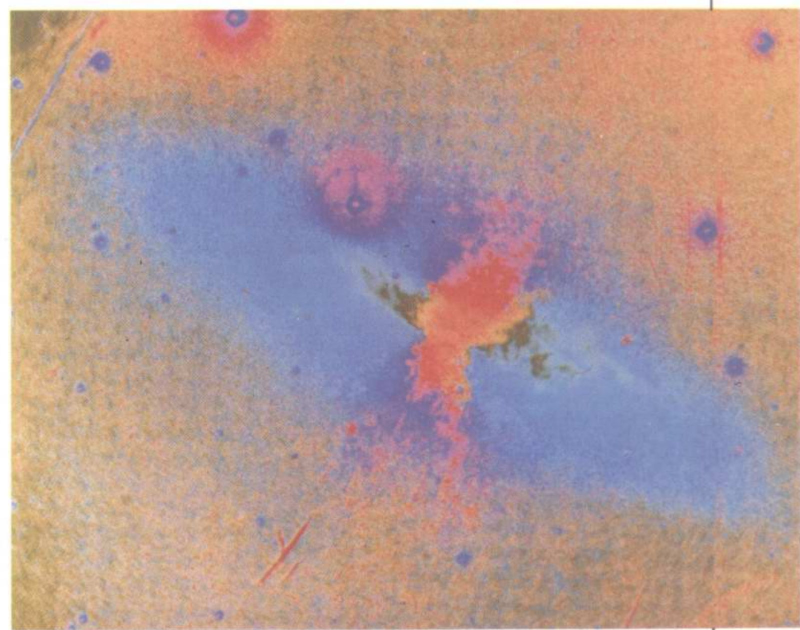


Hasta el año 1924, nuestra galaxia fue la única agrupación estelar en el Universo reconocida como tal. En ese mismo año, el astrónomo norteamericano Edwin Hubble demostró que muchas de las nebulosas vaporosas y difusas que se hallaban dispersas por el firmamento son, en realidad, lejanas galaxias compuestas por cientos de miles de millones de estrellas. Las más "cercanas" a la nuestra son la Gran y la Pequeña Nube de Magallanes, registradas por primera vez por el marino español Fernando de Magallanes. Se encuentran a unos 190.000 años-luz ($1{,}79 \times 10^{18}$ km aproximadamente) y están influidas por la atracción gravitacional de nuestra galaxia, junto con la que forman un sistema galáctico triple.

La Gran Nebulosa Espiral de Andrómeda, o M 31, es una de las galaxias exteriores más próximas a la nuestra, aunque nada menos que a 2,2 millones de años-luz ($1{,}89 \times 10^{19}$ km aproximadamente), y es el objeto más distante, de los que nos rodean, que resulta visible sin la ayuda de instrumentos ópticos. Junto con nuestra galaxia, forma parte del llamado *Grupo Local*.

En 1926, utilizando el entonces nuevo telescopio de 254 cm de Mount Wilson, instalado en California, Hubble había examinado un número suficiente de galaxias como para intentar clasificarlas, lo que le permitió reagruparlas en tres tipos fundamentales: *elípticas*, *espirales* y *en espiral barrada*. Subdividió las de tipo elíptico (que no tienen brazos en espiral) en siete grados de excentricidad, desde las casi esféricas a las lenticulares. Las galaxias en espiral, de las cuales la nuestra es un ejemplo, fueron subdivididas por Hubble en tres grupos, llamados *Sa*, *Sb* y *Sc*, que van desde las de espiral más cerrada a las







de brazos espirales más abiertos. Las galaxias en espiral barrada tienen brazos espirales que parten de una concentración central de estrellas en forma de barra, y fueron subdivididas, de manera similar a las anteriores, en tres grupos según la compacidad de las espirales. Un cuarto grupo, muy genérico y llamado de *galaxias irregulares,* comprende todas aquellas que no se encuentran en ninguna de las clasificaciones mencionadas.

Nadie sabe por qué las galaxias toman estas extrañas formas. Hubble, jugando con la idea de que las galaxias pudieran evolucionar de un tipo a otro, las organizó en lo que ahora se conoce con el nombre de *diapasón de Hubble* y sugirió la posibilidad de que las galaxia nazcan con forma elíptica, evolucionen hacia uno de los tipos de galaxias en espiral y finalmente mueran con forma irregular. Otros astrónomos sugieren lo contrario, es decir, que las galaxias irregulares evolucionan hacia la forma en espiral, envolviéndose cada vez más estrechamente sobre sí mismas hasta convertirse en galaxias elípticas. Una de las paradojas que presenta dicha sugerencia es que la edad de las estrellas en las distintas galaxias no se adapta bien a la hipótesis (las galaxias irregulares son tan viejas como las elípticas y éstas no pueden ser las más jóvenes, ya que no poseen la suficiente materia interestelar como para formar nuevas estrellas, que, sin embargo, abundan en las galaxias en espiral). De momento, la mayor parte de los astrónomos no comparte la opinión de que las galaxias evolucionen de este modo y siguen estudiando los distintos tipos a la búsqueda de una explicación satisfactoria.

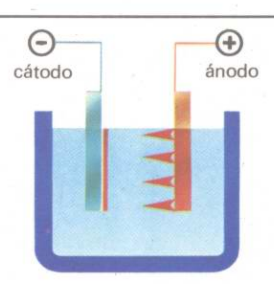
Véase **Cosmología; Cúmulos estelares; Diagrama de Hertzsprung-Russell; Molécula, estructura espacial; Radioastronomía**

Galvanización

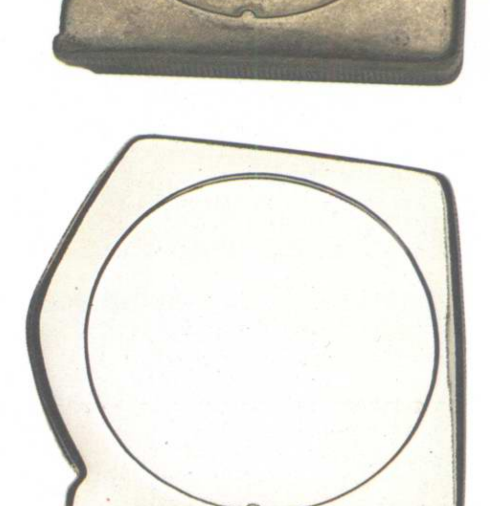
Un viejo proverbio dice que la herrumbre no descansa nunca, aunque realmente podemos evitar su formación recubriendo oportunamente los materiales que estén expuestos a este fenómeno.

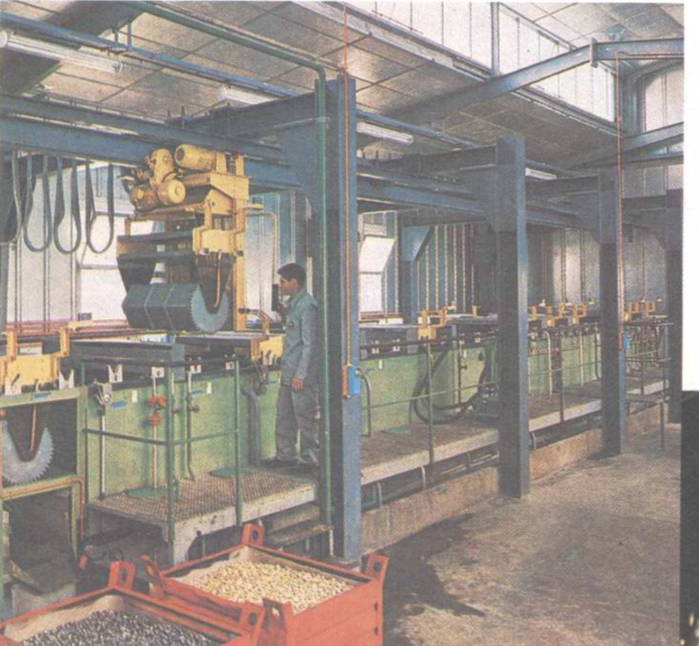
Depositando una capa de cinc sobre algún tipo de metal ferroso, como el acero, mediante una operación llamada *galvanización*, tales materiales se encontrarán protegidos de la acción conjunta del aire y de la humedad, puesto que la reacción electroquímica que origina la herrumbre se hallará interrumpida.

Existen numerosos métodos para proteger los materiales de la herrumbre, aunque la galvanización sigue siendo el más económico y utilizado. Los componentes metálicos de los puentes, las farolas, los raíles, las diferentes piezas del automóvil, los cables y los cubos de la basura son sometidos generalmente a galvanización antes de proceder a su ensamblado definitivo; particularmente, las placas y cables son galvanizados —o, utilizando la expresión corriente, *cincados*—, incluso antes de que sus materiales constituyentes hayan sido moldeados. Por el contrario, otro tipo de objetos, como por ejemplo los cubos, son cincados una vez que el artículo está terminado.



Arriba, el procedimiento del tratamiento galvánico, mediante el cual se consigue recubrir objetos metálicos con otros metales depositados electrolíticamente. En un recipiente conteniendo una solución acuosa de sales del metal que se quiere depositar (por ejemplo, el cobre), se introducen dos electrodos. A la izquierda, el cátodo, negativo, conectado al polo negativo de un generador de corriente continua, y a la derecha, el ánodo, polo positivo, de cobre. Con el paso de la corriente, el cobre se disocia y se deposita sobre la pieza metálica dispuesta en el cátodo.





A la izquierda, planta para el recubrimiento con latón de los casquillos de acero de los cartuchos de caza. El latón es una mezcla que contiene un 30% de cinc y un 70% de cobre. En este proceso es necesario obtener la deposición de estos dos tipos de metales en las proporciones adecuadas.



Origen eléctrico de la herrumbre Para que aparezca el fenómeno de la corrosión, es necesario que se forme previamente un circuito eléctrico. Este proceso se consigue poniendo en contacto un electrolito, esto es, una solución capaz de conducir electricidad, con un objeto metálico. Los electrones circularán entre dos electrodos o áreas de contacto que se establecen sobre la superficie del objeto metálico; dicho movimiento electrónico se realizará del electrodo llamado *ánodo* al

otro llamado *cátodo*, al tiempo que estará ocurriendo una reacción química en la cual el ánodo tenderá a disgregarse y el cátodo se cubrirá con una capa de óxido. Si alguno de los electrodos puede de alguna forma ser convertido en material inerte, no pudiendo consecuentemente la corriente eléctrica cumplir su ciclo completo, la formación de herrumbre disminuye y en algunos casos puede incluso desaparecer. El ánodo y el cátodo, en este proceso, pueden encontrarse en la misma pieza del material o en piezas separadas.

Los metales se clasifican en la serie galvánica según su tendencia a convertirse en ánodos o cátodos los unos respecto de los otros. El cinc se encuentra cerca del final anódico de la serie, puesto que cuando un producto cincado es arañado, descubriendo así el metal ferroso subyacente, la capa de cinc asume un comportamiento anódico cediendo electrones y evitando de esta manera que el hierro o el acero —que en este caso se comportan catódicamente—, se llenen de óxido. En ausencia de aire, incluso la capa de cinc tiende a corroerse, por lo cual los artículos cincados deben ser almacenados en lugares con buena ventilación.

Cinc comercial y brillante Los cables y las placas metálicas ligeras pueden ser chapados con cinc mediante un procedimiento eléctrico. El objeto se sumerge en un recipiente lleno de una solución electrolítica conteniendo sales de cinc; dicho recipiente está dotado de una placa constituida de un metal que funciona como ánodo, mientras que el metal a chapar constituye el cátodo o polo negativo. Cuando se hace pasar la corriente, el cinc de las sales en solución se deposita gradualmente sobre el metal a recubrir.

Las piezas metálicas pequeñas pueden ser recubiertas mediante el proceso de *sherardización*, consistente en la puesta en contacto de dichas piezas con polvo de cinc a alta temperatura.

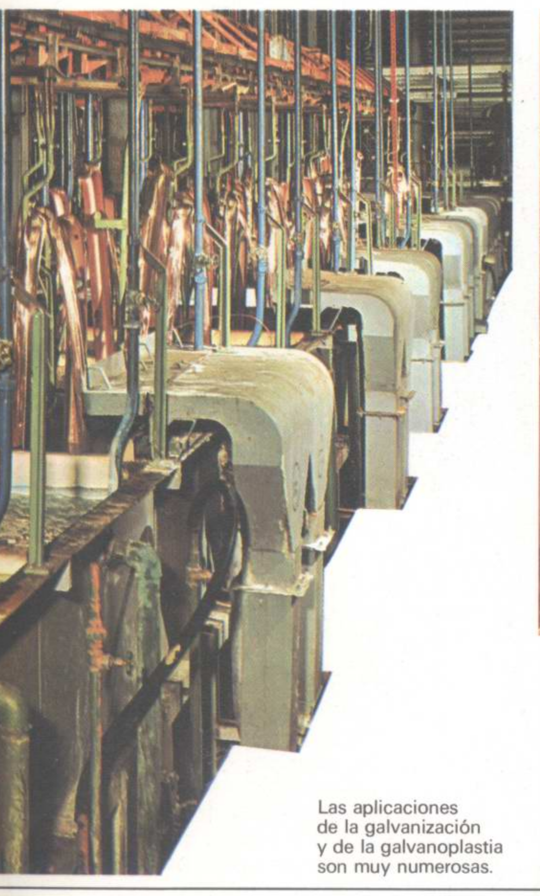
El procedimiento más utilizado, sin embargo, consiste en la *inmersión en caliente*, en el cual el metal a recubrir se sumerge en un baño de cinc fundido a 400 °C. A veces se añaden pequeñas cantidades de estaño o aluminio para obtener un efecto de mayor brillo. Primero el metal debe ser pulido cuidadosamente con objeto de eliminar cualquier resto de grasa, suciedad o incrustaciones (superficies oxidadas de color negro producidas durante las operaciones de refinamiento o grabado en caliente). Para ello, el metal se somete a un proceso de lijado con abrasivos y posterior lavado. Si la pieza es demasiado pesada, se le somete a decapado, inmersión y lavado con ácido clorhídrico o sulfúrico.

El proceso de inmersión en caliente permite obtener generalmente una capa de un espesor de 0,1-0,2 mm. Para capas más delgadas se añade plomo al baño, el cual no ataca al metal sino que se deposita en el fondo del baño y acorta el tiempo de contacto entre la pieza y el cinc. Apenas extraída del baño, la pieza cincada es tratada con chorros de agua, cepillos metálicos o con rodillos para eliminar el exceso de cinc.

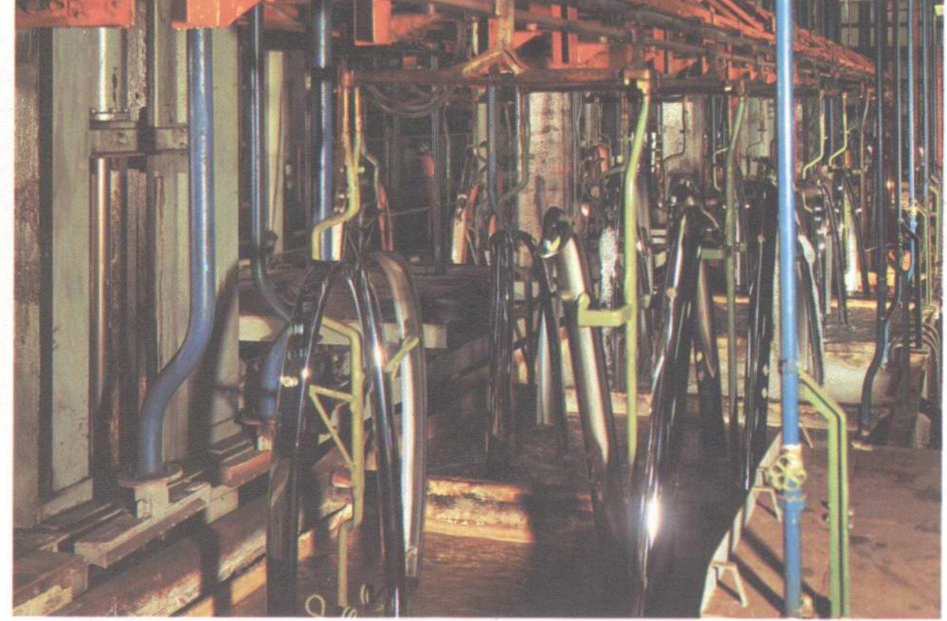
Ventajas del cincado El cinc posee cualidades que mejoran los procedimientos de fabricación, permitiendo a los metales deslizarse libremente durante el grabado y protegiendo los utensilios de corte. El cincado implica aún más ventajas. Para evitar que la capa de cinc se rompa o erosione durante los procesos de elaboración de la pieza metálica, cada día se consigue aplicar capas más finas que son más flexibles, aunque más fácilmente perforables.

Algunas piezas de la carrocería del automóvil son cincadas sólo por un lado. Los constructores de coches no son partidarios de cincar las partes metálicas más visibles, puesto que la trama ligera de la capa de cinc puede producir erosiones en la parte superior durante el moldeado, alterando de esta manera el brillo del acabado. Los nuevos aceros de alta resistencia que contienen sílice y que son cada vez más utilizados no se prestan bien al tratamiento con los procedimientos normales de cincado, por lo que se debe recurrir a otros métodos para proteger estos aceros de la corrosión. Para afrontar estas nuevas exigencias, la industria del cincado ha puesto a punto un proceso que trabaja a altas temperaturas, apropiado para los nuevos tipos de acero.

Véase **Electroquímica; Electrolisis**



Las aplicaciones de la galvanización y de la galvanoplastia son muy numerosas.



En muchos casos, la aplicación de una fina capa de un metal poco reactivo o que ocupa una posición determinada en la escala de la electronegatividad ayuda a evitar la corrosión del metal de soporte. Por ello se utiliza mucho el cromado como protección de los aceros y del hierro. A la izquierda pueden verse recipientes electrolíticos en los cuales están inmersos parachoques de automóvil preparados para recibir una capa de latón, sobre la que se adhiere luego el cromo. En efecto, este metal no se adhiere bien al hierro y podría desprenderse. Por ello, la pieza de hierro se recubre previamente de latón. Arriba, los recipientes utilizados en el cromado de las piezas de hierro y latón. En otros casos se puede utilizar una cadena más larga de metales hasta hacer adherir la capa definitiva sobre el objeto a proteger. El cromo se aplica en soluciones de dióxido de carbono

Gallinas y aves de corral

La cría de aves de corral para aprovechamiento de sus productos se lleva a cabo de forma industrial, aunque existe también en forma familiar. La domesticación de las aves de corral tuvo lugar, al parecer, en la India hacia el año 1000 antes de Cristo. En la actualidad, la cría de aves ha experimentado una radical transformación técnica que ha afectado tanto a la producción de carne como a la de huevos y que ha hecho variar el modo de producción industrial.

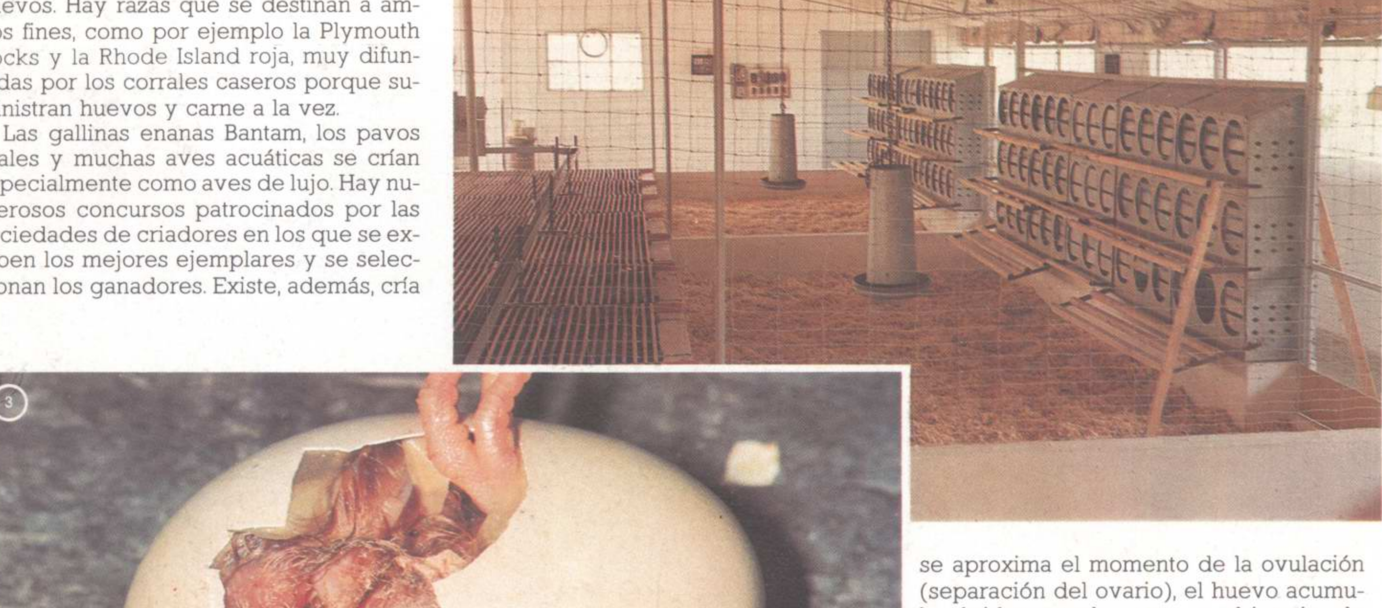
Los avances de la industria avícola se concretan en una serie de características: diferenciación entre empresas seleccionadoras, multiplicadoras, productoras de huevos y productoras de carne; predominio de los tipos cruzados sobre razas y estirpes puras; aplicación de conocimientos genéticos, etcétera.

Tipos de aves de corral Las distintas aves de corral tienen aplicaciones industriales distintas, por lo que se lleva a cabo una cría selectiva con el fin de crear estirpes especializadas. Por un lado, se han conseguido razas de carne que tienen un crecimiento muy rápido y una musculatura muy desarrollada; las razas ponedoras, en cambio, suelen ser ligeras de peso y carecen de instinto maternal (es raro que incuben los huevos). El pavo, la oca de Embden, el pato de Pequín y la gallina Brahma son buenos ejemplos de razas de carne, mientras que la gallina Andaluza azul y el pato Khaki Campbell han sido destinados más bien a la producción de huevos. Hay razas que se destinan a ambos fines, como por ejemplo la Plymouth Rocks y la Rhode Island roja, muy difundidas por los corrales caseros porque suministran huevos y carne a la vez.

Las gallinas enanas Bantam, los pavos reales y muchas aves acuáticas se crían especialmente como aves de lujo. Hay numerosos concursos patrocinados por las sociedades de criadores en los que se exhiben los mejores ejemplares y se seleccionan los ganadores. Existe, además, cría de aves para el deporte (perdices, pichones, etcétera).

El huevo y la gallina La cría de la gallina es la más generalizada y la que ha adquirido un desarrollo más notable. Está destinada principalmente a la producción de carne y de huevos. Cuando una gallina sale del huevo, ya tiene más de 14.000 huevos microscópicos en su ovario izquierdo (el derecho, en cambio, no es funcional). Cuando alcanza la madurez (a los 5-7 meses), algunos de estos huevos empiezan a acumular la yema, que alimentará al embrión del pollito durante su desarrollo si el huevo es fecundado. Cuando se aproxima el momento de la ovulación (separación del ovario), el huevo acumula rápidamente la yema en el interior de la membrana vitelina. Después tiene lugar la ovulación con la rotura del folículo, y el huevo sale, pasando al infundíbulo, que es la entrada (en forma de embudo) del oviducto. Es allí donde tiene lugar la fecundación si la gallina se aparea con el macho. Durante su paso por el oviducto, el huevo es empujado por contracciones periódicas de las paredes del oviducto. En la primera porción de éste, el huevo acumula albúmina durante dos o tres horas.





La cría industrial de pollos y gallinas ha alcanzado un gran nivel de racionalidad y eficacia. Los pollos crecen en jaulas de hierro colocadas en largas filas, unas encima de otras, de forma que ocupan el menor espacio posible. La temperatura, la humedad y la luz tienen gran influencia en el rendimiento, por lo que las modernas granjas se construyen sin ventanas, para aislarlas completamente del exterior. La temperatura mínima tolerable es de 8 °C, y la máxima, de 21 °C; cuando se sale de estos valores, se ponen en funcionamiento automáticamente la calefacción o el aire acondicionado, de forma que se corrige la temperatura hasta los valores apropiados. La ventilación es controlada por un aparato que mide la humedad y hace funcionar los ventiladores cuando ésta sobrepasa ciertos valores. La razón es que los pollos necesitan un ambiente seco y son muy sensibles al exceso de humedad. En las fotos: 1) control de fecundidad de los huevos; 2) interior de una granja; 3) nacimiento de un pollito; 4) cría en batería; 5) incubadora rotatoria; 6) cría en tierra de los polluelos; 7) cría en tierra de las pollastras.





En el tramo siguiente el huevo recibe la membrana testácea, y por último se dirige a la glándula de la cáscara (útero), donde a lo largo de veinte horas se va depositando la capa de carbonato cálcico que constituye la cáscara. Un huevo puede permanecer luego en el útero algunas horas más hasta que llega el momento de la puesta; después se repite la ovulación.

En las explotaciones industriales se emplea la incubación artificial. Esta se realiza en grandes instalaciones dotadas de departamentos de clasificación, carga en bandejas, nacimiento, acondicionamiento de la expedición e higienización y desinfección del material. Las máquinas son eléctricas, con sistemas de termorregulación, volteo y ventilación automáticas.

Los gallineros dedicados al alojamiento de pollos y gallinas deben tener un emplazamiento adecuado: seco, bien drenado, con agua y electricidad. Hay dos tipos principales de instalaciones: con ventanas y, por ello, con luz, ventilación, etc., naturales, y las de "ambiente controlado", con luz y ventilación eléctricas. El hecho de que el "alargamiento de los días" ponga en funcionamiento el mecanismo de la producción de huevos es aprovechado en la industria avícola para elevar la producción al máximo. Las gallinas ponedoras se someten a luz artificial para prolongar sus días y engañar a sus sistemas internos. El suelo debe ser preferentemente de hormigón, para evitar parásitos. El alojamiento de las aves puede hacerse en jaulas o en el suelo. La temperatura debe ser regulada (con temperaturas máximas de 18-21 °C; excepto en la primera semana de cría, en que se precisan 32 °C).

Finalmente tiene lugar la recogida, empaquetamiento y expedición de estos productos hacia los lugares de consumo, para la cual son de enorme importancia las vías de comercialización.

Véase **Zootecnia**



Gas de hulla

Antes de que el gas natural empezase a tomarse en consideración como combustible, el gas de hulla era utilizado ya desde principios del siglo XIX para la iluminación urbana en algunas ciudades, como Londres y Baltimore, durando su utilización hasta el año 1885 aproximadamente en que fue sustituido por la iluminación eléctrica. Cuando comenzó la extracción masiva de gas natural del subsuelo, éste sustituyó rápidamente al gas de hulla. El gas natural, en efecto, era mucho menos costoso y pronto fue instalada una vasta red de gasoductos en América septentrional y en otras regiones. A comienzos de los años setenta del presente siglo, el gas natural suministraba alrededor del 33% de todas las previsiones energéticas de Estados Unidos. Hoy se están construyendo metanoductos que, desde Siberia y desde los campos petrolíferos noruegos y escoceses en el Mar del Norte, se ramifican por toda Europa. Es probable que el gas natural mantenga todavía durante algunos decenios un papel muy importante entre los recursos energéticos mundiales.

No obstante, a comienzos de los años ochenta se ha empezado de nuevo a contemplar al gas de hulla como una de las soluciones para remediar el empobrecimiento de las fuentes de gas natural, que tendrá lugar en un futuro bastante próximo. Efectivamente: aun cuando se estima que las reservas de gas natural todavía son grandes, es preciso hacer penetrar las barrenas a una profundidad cada vez mayor para alcanzarlo, y por consiguiente los costes de producción continúan aumentando. Al final, incluso las grandes reservas de gas natural de Siberia y del Mar del Norte comenzarán a declinar. Como consecuencia de la menor fiabilidad en los abastecimientos de gas natural, los consumidores dirigirán nuevamente su atención a las enormes reservas carboníferas del mundo, las cuales pueden suministrar una gran cantidad de gas de hulla. En los años setenta hubo ya varias tentativas, especialmente en países grandes productores de carbón, como Sudáfrica y Estados Unidos, con objeto de utilizar las reservas de carbón para la obtención de gas de hulla.

Coquización Se obtiene gas de hulla a partir de la *coquización* de la hulla, tratamiento que consiste en calentar carbón en ausencia de aire, para recoger el gas, y que origina varios subproductos muy útiles, como el coque, de gran poder calorífico.

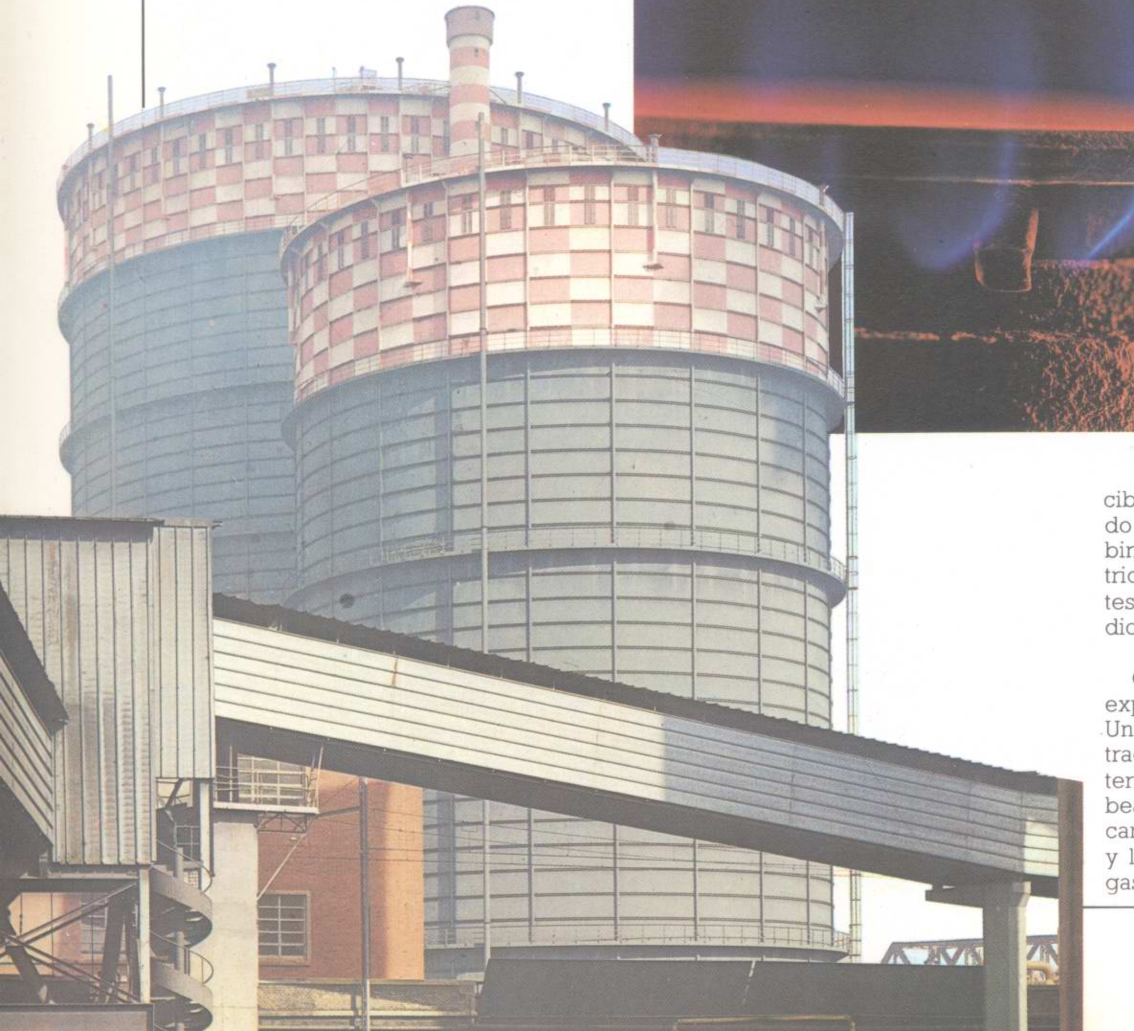
Generalmente, la hulla se transportaba desde las minas hasta las fábricas de gas, y allí era triturada primeramente a fin de darle un tamaño adecuado para después proceder a destilarla en las instalaciones de coquización.

A continuación, mediante retortas de material refractario, se calentaba la hulla hasta una temperatura de 1.352 °C. Sometida al calor, la hulla desprendía gases, vapor de agua y vapores bituminosos, pasando por una fase plástica durante la cual la formación del gas en la masa de la hulla determinaba la estructura porosa del residuo sólido, el *coque*.

Desde las retortas, el gas, el vapor de agua y los vapores bituminosos pasaban a una tubería colectora, en la cual se condensaba una importante cantidad de estos últimos vapores. Desde dicha tubería, el gas y las impurezas eran introducidos en un condensador, donde, al reducirse la temperatura, se condensaban, resultando alquitrán y licor amoniacal (formado por amoniaco, fenoles y varios compuestos de azufre e hidrógeno).

El gas era aspirado por un extractor, que lo impulsaba a través del resto de la instalación lavadora y purificadora, hasta un gasómetro. En la última fase, el gas era tratado en una instalación de secado que extraía la humedad que pudiese quedar, con objeto de disminuir en la medida de lo posible la corrosión de las tuberías distribuidoras del producto final.

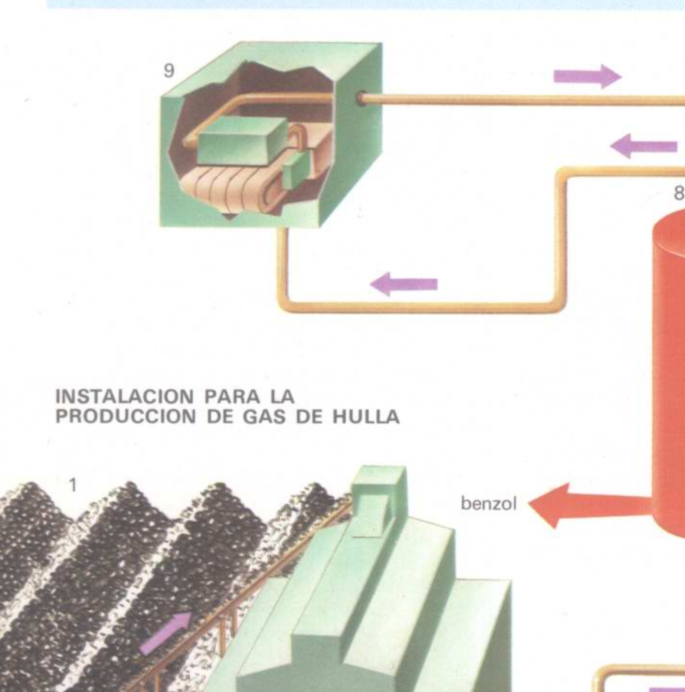
Gas de baja capacidad calorífica El gas de síntesis de baja capacidad calorífica es mucho más simple y más económico de producir, ya que el proceso de producción es mucho más sencillo. Dado que puede ser fabricado en las cercanías o directamente en el interior de grandes centrales eléctricas proyectadas para recibir grandes cargas de carbón, es utilizado principalmente para alimentar las turbinas de producción de la energía eléctrica. A diferencia del gas natural de síntesis, este gas no es distribuido por medio de gasoductos.



Gasificación subterránea Diversos experimentos realizados en los Estados Unidos y en la Unión Soviética han demostrado que es posible la gasificación subterránea del carbón. El oxígeno puro bombeado en el subsuelo se mezcla con el carbón en su lecho natural de yacimiento, y los gases son quemados. Aunque este gas no sea económico para muchos fines,

COMPOSICION MEDIA DEL GAS DE HULLA

Hidrógeno	45-55%
Metano	30-40%
Otros hidrocarburos	3-5%
Oxido de carbono	7-10%
Nitrógeno	2-5%
Dióxido de carbono	2-2,5%
Capacidad calorífica	5.300-5.500 kcal/m³



INSTALACION PARA LA PRODUCCION DE GAS DE HULLA



puede ser usado para centrales eléctricas situadas en las cercanías. Su mayor ventaja reside en el hecho de que los estratos profundos de carbón que por una razón cualquiera no puedan ser explotados directamente para la extracción de dicho combustible pueden así ser utilizados para la producción directa de gas.

Véase **Carbón; Energía; Energía, fuentes de; Energía, recursos mundiales; Energía eléctrica, producción; Gas natural**

Sobre estas líneas, esquema simplificado de instalación para producir gas de hulla por destilación del carbón. En él pueden apreciarse las múltiples partes de que se compone el proceso total: el carbón (1) se introduce en grandes hornos, llamados *retortas* (2), calentados por vapores a alta temperatura, que se producen quemando coque (el residuo sólido obtenido de la misma destilación del carbón). Las sustancias gaseosas que se forman en la destilación deben pasar por una serie de procesos de purificación antes de ser recogidas en el gasómetro. A la salida de las retortas, y según atraviesa determinadas "torres" o "cubas" especiales, se separa gran parte del alquitrán y de las aguas amoniacales (3) (así llamadas porque contienen derivados del amoniaco). Sigue la separación de los residuos del alquitrán (4), de la naftalina (5) y del amoniaco restante (6). Los gases atraviesan entonces una serie de rejillas (7) sobre las que se halla dispuesta una sustancia que retiene el hidrógeno azufrado y el ácido prúsico. Después de la separación del benzol en la torre de depuración (8), los gases son enviados al gasómetro (10), una vez que su volumen ha sido medido por el contador (9). A través del regulador de presión (11), los gases entran en la red de distribución (12) y llegan a cada uno de los puntos de consumo (13). Todos los residuos de la destilación, oportunamente fraccionados, encuentran diversas utilizaciones en la industria química; el coque es usado en las fábricas de acero. En la página anterior, dos ilustraciones: un gasómetro y una típica llama de gas.

Gas natural

El gas natural era ya usado por los chinos hacia el primer milenio a. de C. y se redescubrió en Europa 600 años más tarde. A partir de la II Guerra Mundial el gas natural se ha convertido en un combustible usado a gran escala, con el consiguiente desarrollo de la tecnología relacionada con su producción. En el período que va desde 1940 a 1970, el consumo de gas natural en Estados Unidos aumentó en más del 730%; a escala mundial, el consumo de gas natural representa el 20% del consumo total de sustancias para fines energéticos.

El empleo del gas natural ofrece varias ventajas: es limpio, fácilmente transportable y no requiere sistemas particulares de combustión para su empleo. El gas viene siendo usado sobre todo como combustible para uso doméstico, para la calefacción y refrigeración de locales, para calentar el agua y para cocinar. Además, sigue siendo una materia prima importante para la industria química.

El gas natural "natural" El gas natural, tal y como se encuentra en la Naturaleza, está compuesto por una mezcla de hidrocarburos (metano, etano, propano y butano), hidrocarburos pesados y ácidos inorgánicos en distintos porcentajes (dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico).

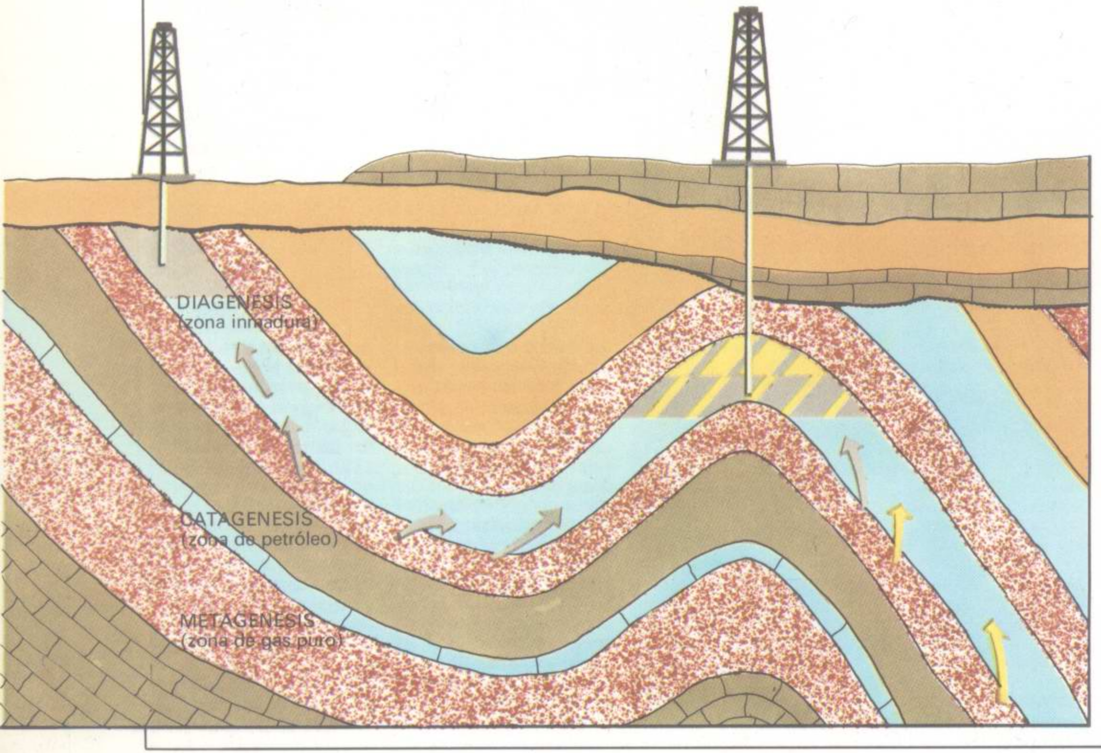
Después de los procesos separativos a los que es sometido, el gas natural se reduce a una mezcla de etano y metano. Por su composición y por su origen, el gas natural se asemeja al petróleo (constituido por una mezcla de hidrocarburos líquidos en vez de gaseosos como en el caso del gas natural). En ambos casos, estos productos se forman siguiendo un proceso complicado de descomposición de sustancias orgánicas que se produce a lo largo de millones de años.

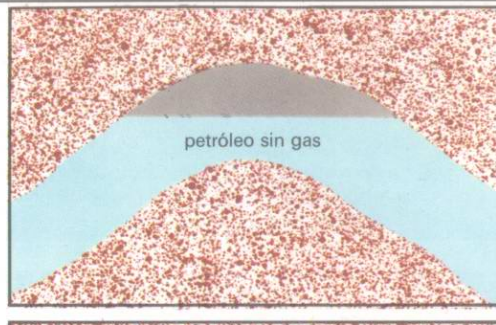
A una profundidad de 1.000-3.000 metros, el petróleo, el metano y el dióxido de carbono se forman a partir de sedimentos compactos e impermeables, principalmente de los sedimentos de arcilla y calcáreos. Los gases ligeros así originados tienden a dirigirse hacia arriba, pasando a través de los estratos porosos y permeables, como los de arena, pudiendo ser retenidos por estratos rocosos. El gas natural se suele hallar en el mismo tipo de estratos geológicos que el petróleo, asociado a menudo con depósitos de éste, que sale a la superficie gracias a la presión del gas.

Se ha estimado que las reservas de gas natural del mundo se acercan a 74×10^{18} metros cúbicos. Los yacimientos más importantes se encuentran en la Unión Soviética, con una capacidad de 26×10^{12} metros cúbicos. Recientemente se han encontrado yacimientos importantes en el Mar del Norte y en Holanda, aumentando de esta forma considerablemente la disponibilidad de gas natural en Europa Occidental.

La producción de gas natural No existe una forma segura para localizar un ya-

Abajo, esquema de la disposición típica de un yacimiento de hidrocarburos líquidos y gaseosos. En los pliegues rocosos se van acumulando estos líquidos solamente en lugares cubiertos por cúpulas de roca impermeable con la concavidad situada hacia abajo. En la búsqueda de gas se intenta localizar estas cúpulas llenas de hidrocarburos y luego se pasa a su perforación. A la derecha, las distintas posibilidades de hallar hidrocarburos; arriba: en la cúpula se ha formado únicamente petróleo líquido, sin la más mínima cantidad de gas; abajo del todo: gas puro; en medio: todas las posibilidades intermedias.

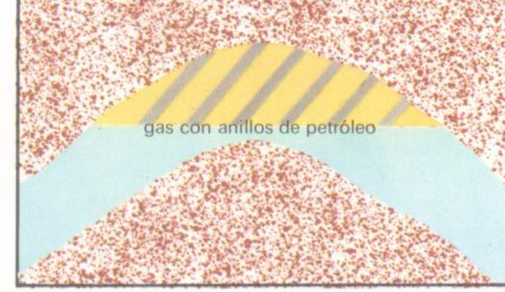


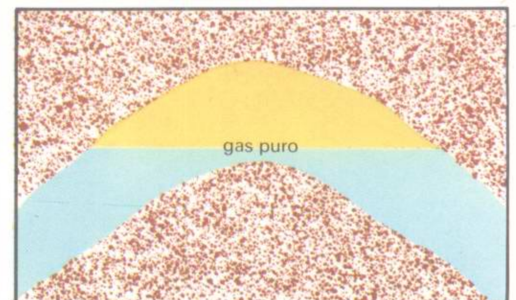




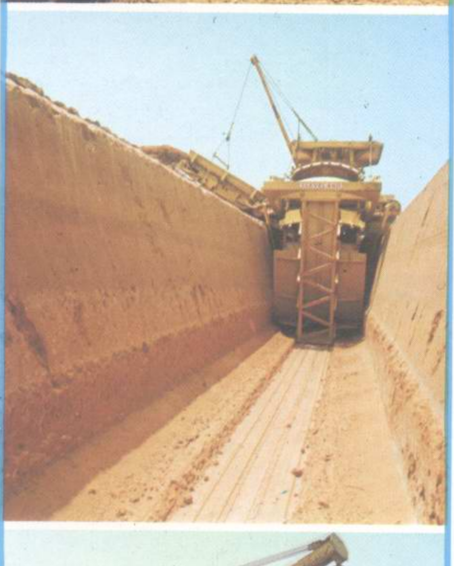


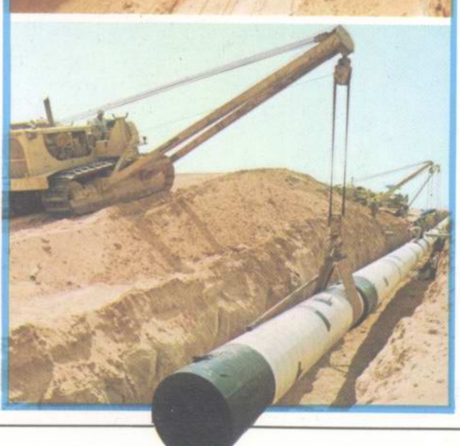






Tres momentos de la instalación, en Egipto, de un gasoducto para el transporte de hidrocarburos. Arriba, el tubo se encuentra dispuesto para ser enterrado. El tubo, constituido por elementos transportados hasta el lugar por grandes camiones, es ensamblado mediante soldadura con arcos voltaicos de corriente de nitrógeno. Antes de ser enterrado, es controlado y radiografiado con rayos gamma emitidos por una fuente de isótopos de iridio y cobalto. Por último, se protege al tubo de la corrosión mediante una cubierta espesa de plástico. La excavación, en el centro, se realiza utilizando una única máquina que se mueve por encima de la zanja, fresa el terreno y dispone el material extraído a ambos lados. En ese momento, abajo, interviene una serie de potentes grúas dispuestas a intervalos, que levantan el tubo y lo depositan en el fondo de la zanja. Por último, la zanja se rellena con la tierra acumulada a los lados, proveniente del material extraído.





cimiento de gas natural. Los tres métodos usados más frecuentemente son: 1) la observación sismográfica, con la que se mide la onda de choque producida por cargas explosivas, lo que permite obtener una identificación de la estructura de las rocas del subsuelo; 2) la perforación geológica para la identificación de las particularidades en las formaciones rocosas; 3) la medida de las variaciones de la gravedad terrestre, gracias a la cual se puede determinar la presencia de petróleo o de gas natural, que son más ligeros que las rocas. Sin embargo, las exploraciones preliminares sólo permiten determinar la existencia de reservas de gas natural con una cierta probabilidad; la única forma segura para demostrar la existencia de un yacimiento consiste en la perforación. Las probabilidades de éxito son muy bajas en cada caso; de esta forma, sólo un 9% de los pozos perforados contiene gas, y de éstos, apenas dos resultan rentables comercialmente.

La explotación de los pozos de petróleo y de gas natural, ya sea en tierra firme o por medio de las plataformas marinas, se realiza siempre de la misma manera. La mayor parte del yacimiento de gas puede ser utilizado hasta que se produce la salida del 85% de la capacidad total. A partir de entonces la presión del gas contenido en el yacimiento desciende hasta un valor demasiado bajo como para que la extracción siga siendo rentable. En general, el gas sufre una larga serie de tratamientos antes de ser vendido al consumidor con objeto de eliminar las impurezas como el polvo, la arena, el agua y otros gases no deseados. Algunos de los productos extraídos, como el argón y el helio (presentes sólo en el gas de los yacimientos del continente americano), incluso poseen un valor comercial superior al del mismo gas natural. Debido a que numerosos yacimientos se encuentran ubicados en zonas muy alejadas de las áreas de consumo más importantes, el gas debe de ser transportado, bien en forma gaseosa a través de gasoductos, bien en forma líquida a bajas temperaturas (—162 °C) en barcos especiales.

Como el metano en su estado puro es incoloro e inodoro, se emplea como medida de seguridad la adición al gas de un compuesto químico con olor característico, que de esta forma permite detectar inmediatamente cualquier tipo de fuga de gas que pudiera producirse.

Véase **Metano; Petróleo**

Aunque el transporte del gas natural a distancias intercontinentales es una operación difícil cuando se realiza por conducción, resulta eficaz en pequeñas distancias y para la distribución capilar. Por lo tanto, el gas natural como fuente de energía ha tenido una difusión cada vez mayor, y la construcción de gasoductos para su transporte ha tenido un crecimiento rápido. Las perspectivas de consumo (derecha) prevén incrementos sustanciales a corto plazo.

Gases

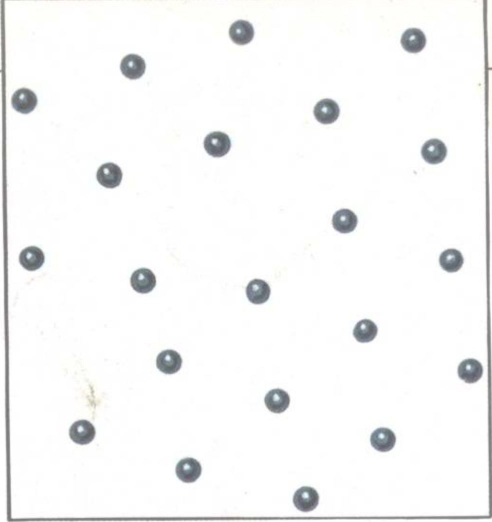
El comportamiento de las sustancias gaseosas ha suscitado siempre una cierta fascinación en los científicos, y ha permitido comprender algunos de los aspectos más importantes de la actividad molecular. En 1827 el botánico escocés Robert Brown observó, mediante el microscopio, que los granos de polen suspendidos en agua se desplazaban en todas direcciones con una trayectoria caótica en zigzag. La naturaleza de este movimiento fue, en principio, atribuida a las corrientes de convección que tenían lugar en el seno del fluido. En la actualidad sabemos que las moléculas de todo gas encerrado en un recipiente se desplazan en todas direcciones, en un movimiento que hoy conocemos como *browniano*, y que no se justifica por la presencia de corrientes de aire que las empujan, sino por la propia energía con que están dotadas las moléculas del gas.

La materia puede existir en uno de los siguientes tres estados: sólido, líquido o gaseoso. El agua, por ejemplo, puede presentarse bajo la forma de hielo, de líquido o de vapor. Aunque cualquier líquido en contacto con el aire cede a éste, en pequeñas proporciones, moléculas que pasan al estado gaseoso, existe una temperatura característica, denominada *de ebullición*, por encima de la cual todo el elemento se encuentra en forma de gas. Esta temperatura es de 100 °C para el agua. El helio tiene un punto de ebullición más bajo que otros elementos: pasa a la forma gaseosa a −268,9 °C. Por el contrario, el tungsteno tiene un punto de ebullición muy elevado (cerca de los 5.830 °C).

Al estar por encima de su punto de ebullición, las moléculas de una sustancia adquieren la suficiente energía cinética como para vencer las fuerzas de atracción intermoleculares y pasar al estado gaseoso, en el que se mueven libremente en todas direcciones, chocando continuamente entre sí.

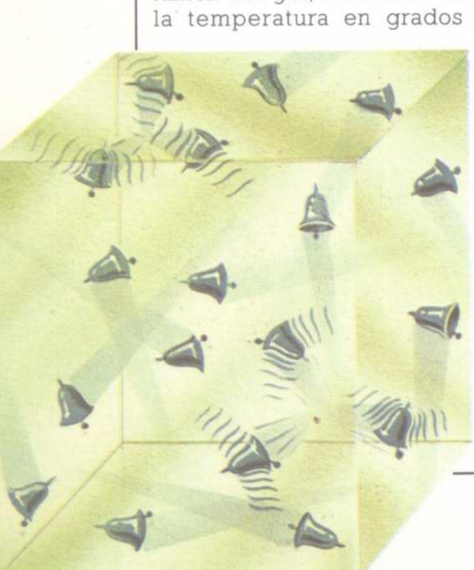
Ley de Charles-Gay Lussac La experiencia nos muestra que con el calor el gas se expande y con el frío se contrae. La ley de Charles-Gay Lussac ha expresado este principio en una relación matemática muy sencilla: $V = kt$, donde V representa el volumen del gas, k es una constante y t es la temperatura en grados Kelvin. De acuerdo a esta ley, un gas hipotéticamente enfriado a −273,16 °C o cero absoluto debería tener un volumen nulo. Sin embargo, esta ecuación no es aplicable, ya que a esa temperatura el elemento se encontraría en estado sólido.

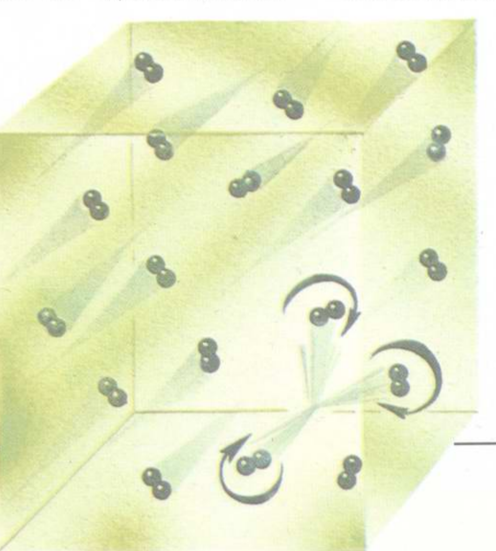
Ley de Boyle-Mariotte Aunque desde hacía siglos se sabía que los gases ocupan un volumen menor al ser comprimidos, fue Robert Boyle, en el siglo XVII, quien realizó los primeros estudios con carácter científico referidos al efecto de la presión sobre los gases, observando que, si se mantiene constante la temperatura, todos los gases tienen el mismo comportamiento cuando se les somete a un mismo cambio de presión.

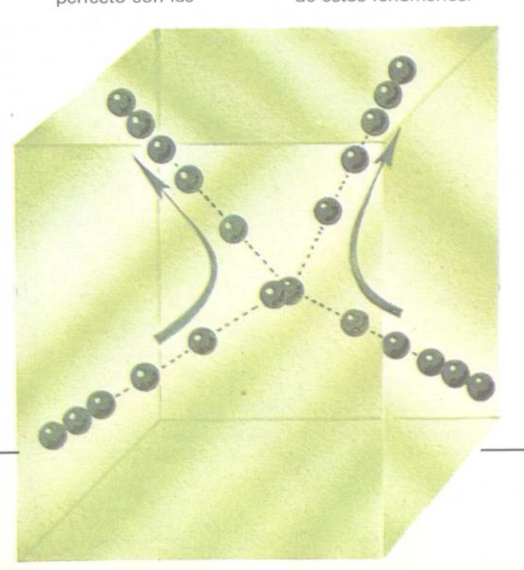




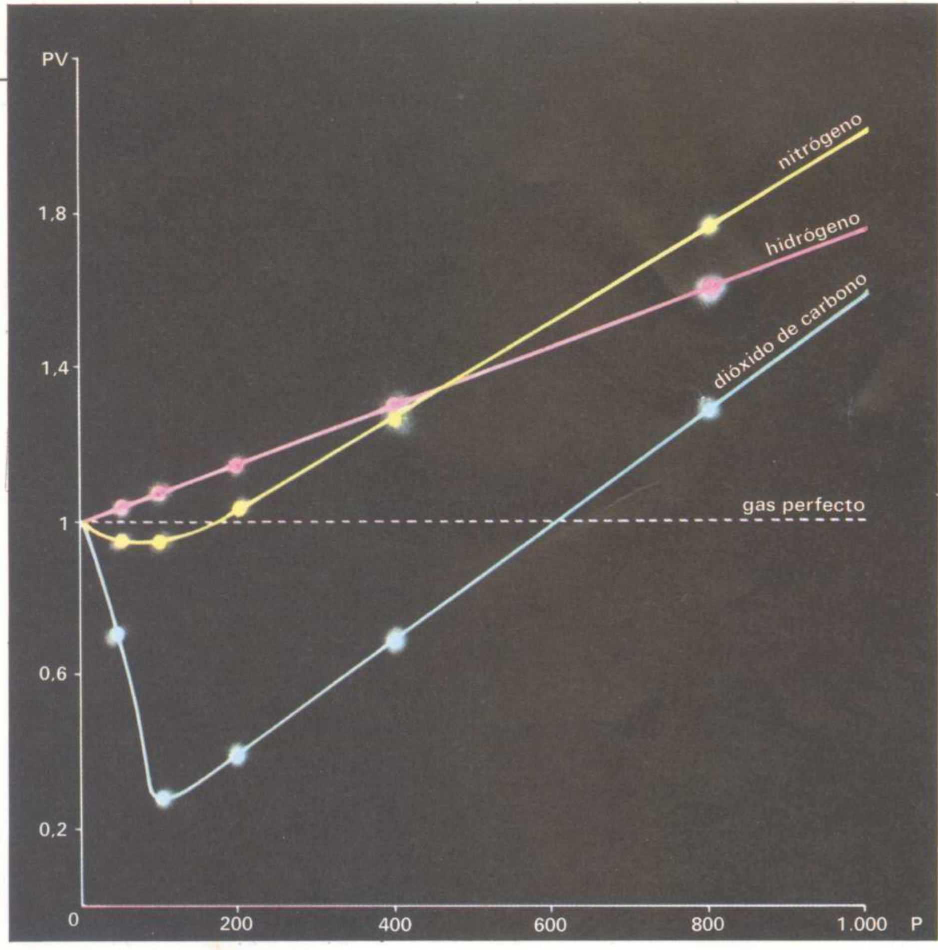
A la izquierda, representación gráfica de las hipótesis utilizadas para formular la teoría de los gases. La Mecánica permite predecir las propiedades de un sistema compuesto por partículas; en el caso de que estas últimas constituyan un gas, basta con aplicar la mecánica newtoniana. Para la elaboración de la teoría de un gas ideal se parte de una hipótesis sencilla, mientras que en el estudio de las propiedades de los gases reales se observa cómo aumenta el grado de complejidad de las hipótesis. A la izquierda, la hipótesis de partida: el gas está compuesto por partículas con forma esférica; son muy pequeñas, asimilables casi a un punto; están separadas unas de otras, y en general permanecen alejadas unas de otras. Además, no se ejercen fuerzas entre ellas. A su derecha, la segunda hipótesis: las partículas que constituyen el gas están en movimiento. Este es rectilíneo, salvo que se produzca de vez en cuando una colisión de las partículas, entre sí o con las paredes del recipiente. Pero hay gran espacio a disposición de las partículas para que éstas puedan moverse la mayor parte del tiempo con un movimiento rectilíneo. De estas hipótesis nace la teoría cinética de los gases.







Aquí abajo, algunas de las diferencias entre las moléculas perfectas en forma de pequeña esfera y las moléculas reales de un gas. Imaginemos (primer esquema) que se encierra un gas en una pequeña cajita cuyas paredes elásticas contienen diminutas campanas elásticas que serán golpeadas por las partículas esféricas como ya veíamos en la hipótesis cinética del gas. Al producirse un choque, las campanas vibran y producen un sonido que es emitido al exterior como energía, que se pierde. Las partículas en el interior de la caja se van moviendo más lentamente a medida que transcurre el tiempo, hasta llegar incluso a pararse cuando pierden toda la energía. Algunas moléculas reales (segundo esquema) como son las del oxígeno y nitrógeno del aire, están formadas por dos átomos con una forma casi esférica. En las colisiones vibran y rotan; estas vibraciones y rotaciones son amortiguadas por la emisión de radiaciones electromagnéticas que son irradiadas hacia el exterior. Sucede de este modo algo parecido a lo que ocurre en el gas perfecto con las campanitas, también en el gas real el movimiento de sus partículas se va frenando por la pérdida de energía. Finalmente, a la derecha, en la colisión entre dos moléculas de un gas real se manifiestan unas fuerzas que alteran el sencillo comportamiento de las colisiones de las anteriores hipótesis, complicando el estudio de estos fenómenos.



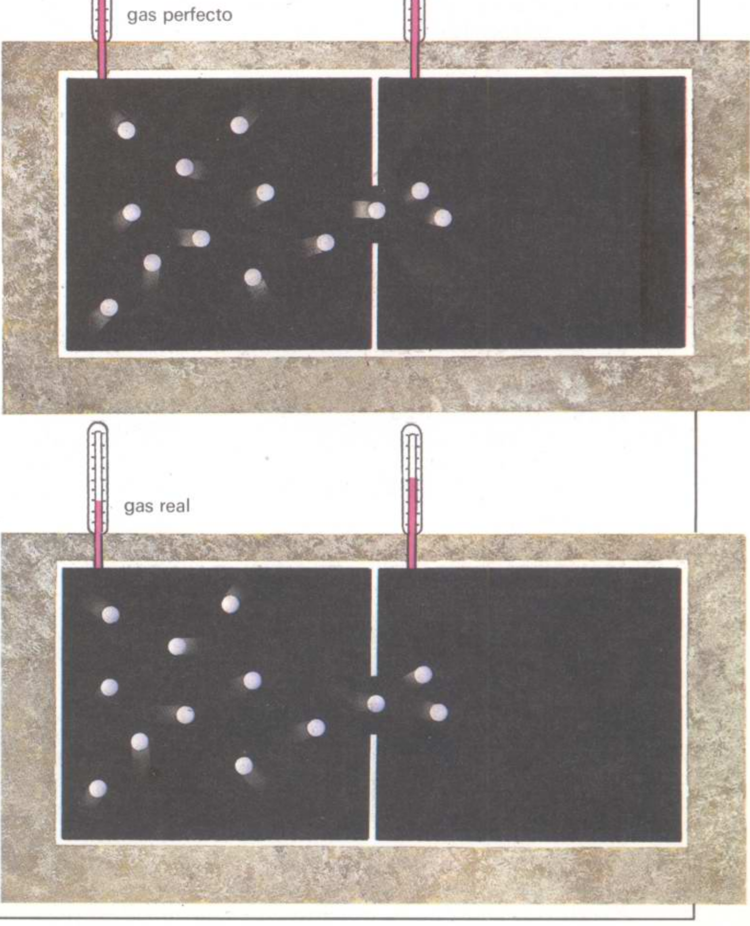
El diagrama de la izquierda muestra cómo el comportamiento de los gases reales se diferencia del de los gases perfectos que verifican la ley de Boyle, según la cual para una masa dada de gas, a una cierta temperatura, el producto de la presión, *p*, por el volumen, *V*, es constante. Como se puede ver, mientras que para los gases perfectos, cuando aumenta la presión, el volumen disminuye de tal modo que mantiene constante el producto *pv* (línea discontinua); en los otros gases una misma variación de presión produce muy distintas variaciones de volumen, que no conservan la igualdad $pV = k$. Así, el hidrógeno presenta una línea ascendente, el nitrógeno y el dióxido de carbono presentan una curva que para un cierto intervalo de presiones está situada por debajo del trazo discontinuo.

Los experimentos que Edmond Mariotte realizó sobre la compresibilidad del aire hicieron que fuese éste quien enunciara de forma matemática esta ley con formulación $pV = k$, donde *p* es la presión, *v* es el volumen y *k* es una constante igual para todos los gases (inflando el neumático de una bicicleta, se puede observar el aumento de presión que se produce al empujar el émbolo).

Comportamiento de un gas en un espacio cerrado Cuando se calienta un gas encerrado en un recipiente, su temperatura aumenta y las moléculas que lo componen adquieren una mayor energía. Estas se mueven con gran velocidad y colisionan con mayor fuerza en las paredes del recipiente, provocando un aumento de presión. Este resultado era de esperar, ya que haciendo uso de las ecuaciones de Charles-Gay Lussac y Boyle-Mariotte se obtiene que $p/t = k$. Es decir, un aumento de la temperatura del gas lleva asociado un aumento proporcional de la presión cuando el volumen del recipiente en donde se encuentra constreñido permanece constante.

Si se comprime el gas contenido en un cilindro, las moléculas que chocaban en su interior colisionarán ahora con mayor frecuencia que antes contra las paredes del recipiente. Esto es debido a que al encontrarse en un volumen más pequeño, la distancia que pueden recorrer es menor. Si la compresión se efectúa bruscamente, el gas aumenta su temperatura, como puede observarse en el siguiente ejemplo: efectivamente, en el interior de un motor Diesel, cuando el gas (que está formado por aire y gas-oil vaporizado) es comprimido en los cilindros, se calienta tanto como para autoencenderse, expandiéndose y empujando el pistón. Por el contrario, cuando un gas es liberado repentinamente de un recipiente en el cual se encuentra mantenido a presión, se expande y consecuentemente se enfría. En las máquinas frigoríficas, el gas es comprimido y posteriormente es liberado, expandiéndose rápidamente y enfriándose hasta una temperatura que llega incluso a alcanzar niveles inferiores al punto de congelación del agua.

Véase **Gases nobles; Movimientos brownianos**



Dentro de un recipiente bien aislado térmicamente respecto del exterior existen dos cavidades: en la parte izquierda se encuentra un gas, que se ha representado con sus partículas en movimiento; en la derecha, existe el vacío. Un tabique con un orificio separa las dos cavidades. Las partículas del gas que no se vean impedidas por algún obstáculo pasarán a través del orificio, conservándose en general su velocidad así como la temperatura. No debe producirse enfriamiento, así lo atestigua el segundo termómetro. Esto únicamente sucede si el gas es perfecto, ya que cualquier gas real se enfriaría un poco. Este fenómeno se puede apreciar en el esquema inferior, en el que se ve que el segundo termómetro indica una temperatura distinta: el gas de partida permanece caliente, pero cuando se difunde se enfría. Este hecho se explica porque en el gas real las partículas que lo componen ejercen una leve pero sensible atracción entre sí mismas: la energía gastada en vencer esta atracción hace que se enfríe el gas.

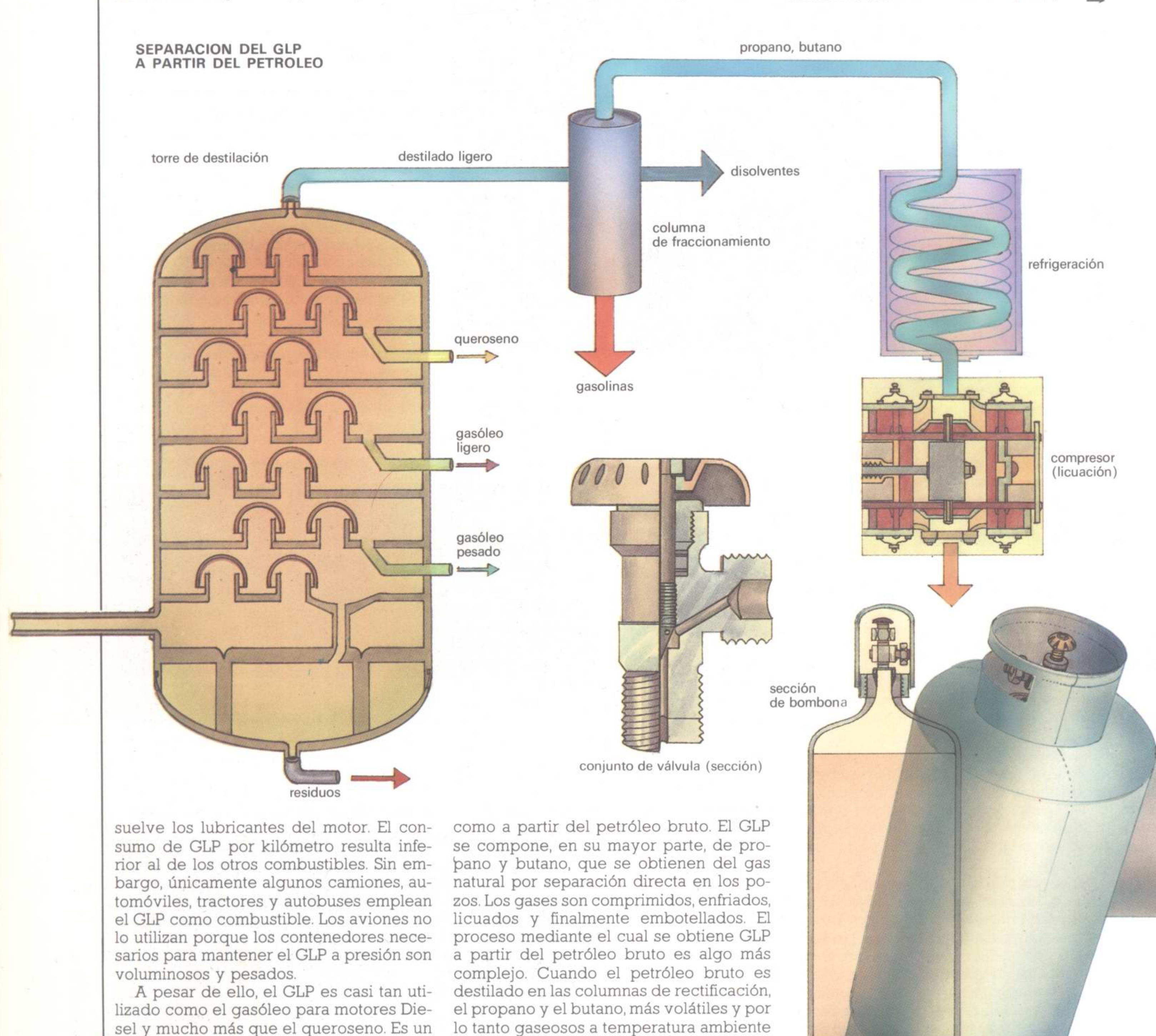
Gases licuados del petróleo

Los gases licuados del petróleo (GLP) son una mezcla de butano y propano, combustible ideal para motores. El propano y el butano se encuentran disponibles en grandes cantidades a escala mundial. Comprimidos y a baja temperatura se presentan en estado líquido y pueden ser embotellados. Contrariamente a lo que ocurre con otros combustibles, como la gasolina y el gasóleo para motores Diesel, el GLP entra en el motor en forma de gas y no como líquido. Por eso arde más deprisa y no pasa a través de los segmentos de los pistones, por lo que no disuelve los lubricantes del motor. El consumo de GLP por kilómetro resulta inferior al de los otros combustibles. Sin embargo, únicamente algunos camiones, automóviles, tractores y autobuses emplean el GLP como combustible. Los aviones no lo utilizan porque los contenedores necesarios para mantener el GLP a presión son voluminosos y pesados.

A pesar de ello, el GLP es casi tan utilizado como el gasóleo para motores Diesel y mucho más que el queroseno. Es un combustible muy apreciado en zonas alejadas de las fuentes de gas natural, ya que es posible transportar, mediante camiones, depositos de GLP a una casa o a una factoría donde puede ser empleado para calefacción, procesos de secado, calentamiento del agua, estufas, frigoríficos, pequeños generadores de corriente y acondicionamiento del aire. Puede utilizarse también para ciertos tipos de soldadura, en mecheros, etc. En la práctica, el GLP puede ser utilizado en las mismas aplicaciones en que se emplea el gas natural.

La química del GLP El GLP puede ser obtenido tanto a partir del gas natural como a partir del petróleo bruto. El GLP se compone, en su mayor parte, de propano y butano, que se obtienen del gas natural por separación directa en los pozos. Los gases son comprimidos, enfriados, licuados y finalmente embotellados. El proceso mediante el cual se obtiene GLP a partir del petróleo bruto es algo más complejo. Cuando el petróleo bruto es destilado en las columnas de rectificación, el propano y el butano, más volátiles y por lo tanto gaseosos a temperatura ambiente (20 °C), son fácilmente separados de los componentes más pesados que contiene

Abajo, esquema del proceso de separación del GLP a partir del petróleo. Las fracciones más volátiles, que se separan en la cabeza de la torre de destilación, pasan a través de una segunda columna de fraccionamiento, que separa los hidrocarburos en estado gaseoso a temperatura ambiente de los que se condensan y pasan al estado líquido. Los gases con una temperatura crítica superior a la temperatura ambiente, como ocurre con el propano y el butano, pueden licuarse con facilidad comprimiéndolos tras ser refrigerados hasta la temperatura ambiente. En las bombonas y en los tanques de almacenamiento, el GLP se encuentra en estado líquido, y al →



propano

butano

isobutano

COMPOSICION TIPICA DEL GLP	
etano	2,5%
butano + propano	97%
ozono	0,5%
poder calorífico	23.000 kcal/m³

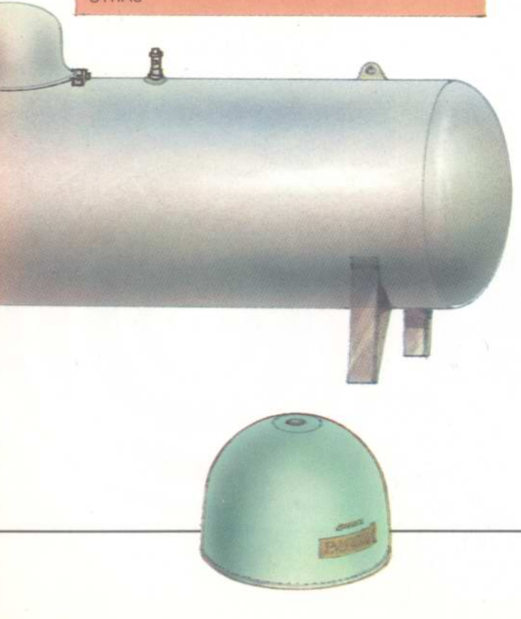
CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS HIDROCARBUROS INFERIORES

	Punto de ebullic. (T °C)	Temp. crítica (T_c °C)	Presión crítica (P_c Atm.)	Densidad
metano	−164	− 82,1	45,8	0,555 a 0 °C
etano	− 88,6	32,2	48,2	0,446 a 0 °C
propano	− 42,1	96,8	42,0	0,524 a 6 °C
butano	− 0,5	152,0	37,5	0,600 a 0 °C
isobutano	− 10,2	135,0	136	0,603 a 0 °C

Observando las propiedades físicas mostradas en la tabla está clara la diferencia entre gases comprimidos y licuados: el metano no es licuable a temperatura ambiente, el etano sólo puede licuarse con grandes presiones y los demás pueden licuarse con presiones relativamente bajas.

PRINCIPALES APLICACIONES

- AUTOMOCION
- APLICACIONES DOMESTICAS
- APLICACIONES AGRICOLAS E INDUSTRIALES
- OTRAS



→ abrir la válvula se convierte en gas, ya que la presión disminuye. La sección de una válvula de aguja se muestra en el centro de la página anterior.

el petróleo. Los gases separados de este modo son comprimidos, enfriados e introducidos en las bombonas. El propano y el butano son hidrocarburos —es decir, compuestos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno— y pertenecen a la serie de los alcanos.

Todos los compuestos de esta serie tienen la fórmula general C_nH_{2n+2}, así, tenemos: el *metano* (CH_4) —el compuesto más ligero de la serie—, el *etano* (C_2H_6), el *propano* (C_3H_8), el *butano* (C_4H_{10}), el *pentano* (C_5H_{12}), y otras varias decenas de compuestos.

Transporte y almacenamiento El GLP, lo mismo que el gas natural, puede ser enviado a lugares alejados mediante gasoductos. Sin embargo, gran parte del mismo es enviado en bombonas o depósitos montados en vagones de ferrocarril o camiones. Muchas cisternas, por ejemplo, se emplean exclusivamente para el envío del GLP a los centros de distribución, donde es introducido en pequeñas bombonas que son las que se envían a los consumidores. Una parte del GLP es embotellada para ser utilizada como combustible en automóviles: camiones, tractores y autobuses.

Existen barcazas especiales dotadas de contenedores para el transporte del GLP por las vías fluviales, y barcos destinados a su transporte a través de los mares y océanos. Como ocurre con el gas natural, el GLP se almacena en enormes depósitos que permiten un suministro constante.

Grandes cantidades de dicho gas son almacenadas en el subsuelo. Las cavernas obtenidas en los yacimientos de sal son muy adecuadas para su almacenamiento, ya que los depósitos salinos son impermeables al aire y a los gases.

Durante las últimas décadas, la demanda de GLP ha ido creciendo constantemente. Como las fuentes de gas son abundantes y seguirán siéndolo en un futuro próximo, y como el GLP tiene múltiples aplicaciones, es previsible que la demanda siga aumentando.

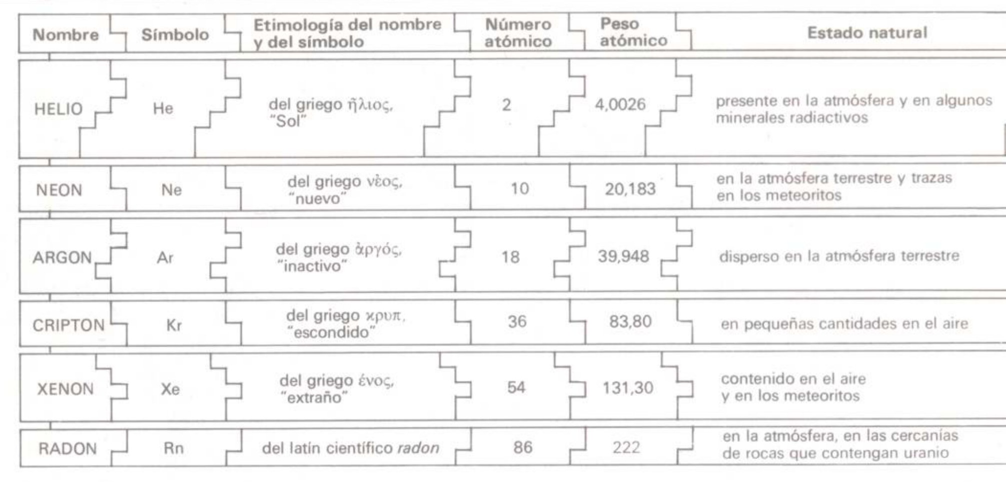
Véase **Encendedor; Gas natural; Hidrocarburos; Metano; Motor de combustión interna; Petróleo**

Gases nobles

Si por algún motivo elementos tales como el helio, el neón, el argón, el criptón, el xenón y el radón fuesen eliminados de forma repentina de la Tierra, las consecuencias de este hecho apenas serían perceptibles. Mientras que numerosos elementos químicos entran a formar parte de manera importante en la composición de la atmósfera o de la corteza terrestre, y otros elementos desarrollan un papel esencial en los procesos biológicos, los gases mencionados no ejercen una influencia decisiva en la vida sobre la Tierra.

Una de las razones de ello es su extrema rareza. El argón constituye poco menos del 1% de la composición del aire; el helio, únicamente el 0,0005%; y los demás se encuentran todavía en menor proporción. El helio, sin embargo, y debido a que es producido en las reacciones termonucleares que se desarrollan en las estrellas, constituye el segundo elemento en abundancia contenido en el Universo. Estos elementos son todos ellos incoloros, inodoros e ininflamables. Por último, no tienen tendencia a combinarse con otros elementos, salvo en condiciones especiales creadas en el laboratorio.

Todos estos gases pertenecen a un mismo grupo de elementos químicos, conocido como familia de los *gases nobles*. En una familia de elementos, cada uno de sus miembros posee características químicas similares. En la tabla periódica, que es la clasificación de todos los elementos conocidos en base a su estructura atómica, los elementos de una misma familia se encuentran situados en una misma columna. Los gases nobles se sitúan en la última columna de la derecha. La propiedad química más característica de los gases nobles es su extrema inactividad química.



Nombre	Símbolo	Etimología del nombre y del símbolo	Número atómico	Peso atómico	Estado natural
HELIO	He	del griego ἥλιος, "Sol"	2	4,0026	presente en la atmósfera y en algunos minerales radiactivos
NEON	Ne	del griego νὲος, "nuevo"	10	20,183	en la atmósfera terrestre y trazas en los meteoritos
ARGON	Ar	del griego ἀργός, "inactivo"	18	39,948	disperso en la atmósfera terrestre
CRIPTON	Kr	del griego κρυπ, "escondido"	36	83,80	en pequeñas cantidades en el aire
XENON	Xe	del griego ἑνος, "extraño"	54	131,30	contenido en el aire y en los meteoritos
RADON	Rn	del latín científico *radon*	86	222	en la atmósfera, en las cercanías de rocas que contengan uranio

Inactividad química En la Naturaleza, los átomos de la mayoría de los elementos químicos tienen tanta tendencia a combinarse que o bien se encuentran dentro de moléculas formadas por átomos de varios elementos, o incluso se combinan consigo mismo dando lugar a moléculas diatómicas. Tal es el caso del oxígeno contenido en el aire que respiramos, constituido por dos átomos del mismo elemento químico. Sin embargo, los átomos de los gases nobles se encuentran siempre en forma aislada (monoátomos). De este modo, se comportan de manera muy similar al gas perfecto descrito en los textos de Química para ilustrar los principios que regulan el comportamiento de los gases. Por esta razón, los gases nobles son herramientas útiles para desarrollar y experimentar modelos sencillos de comportamiento de los gases.

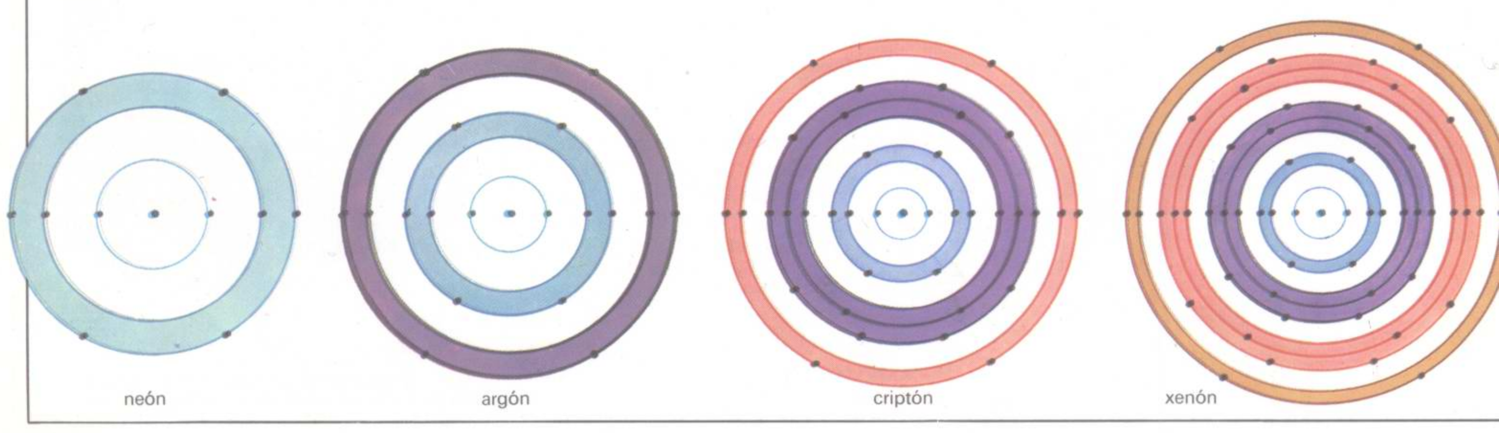
La mencionada característica de los gases nobles en relación a la ausencia de combinación con otros elementos permitió a los científicos formular una teoría sobre el enlace químico. Durante muchos años después de su descubrimiento, a finales del siglo XIX, los químicos intentaron inútilmente combinar los gases nobles con otros elementos, particularmente en el caso del argón.

Este era, entre otros, uno de los fenómenos que el físico danés Niels Bohr intentaba explicar al proponer, en 1913, un nuevo modelo atómico, que constituyó un paso importante en la comprensión moderna de la estructura atómica. Según este modelo, los electrones se hallan dispuestos alrededor del núcleo en grupos llamados *capas* (nubes) o *niveles*. Unicamente un determinado número de electrones puede encontrarse contenido en cada uno de los niveles y, además, estos electrones rellenan los niveles según un orden determinado.

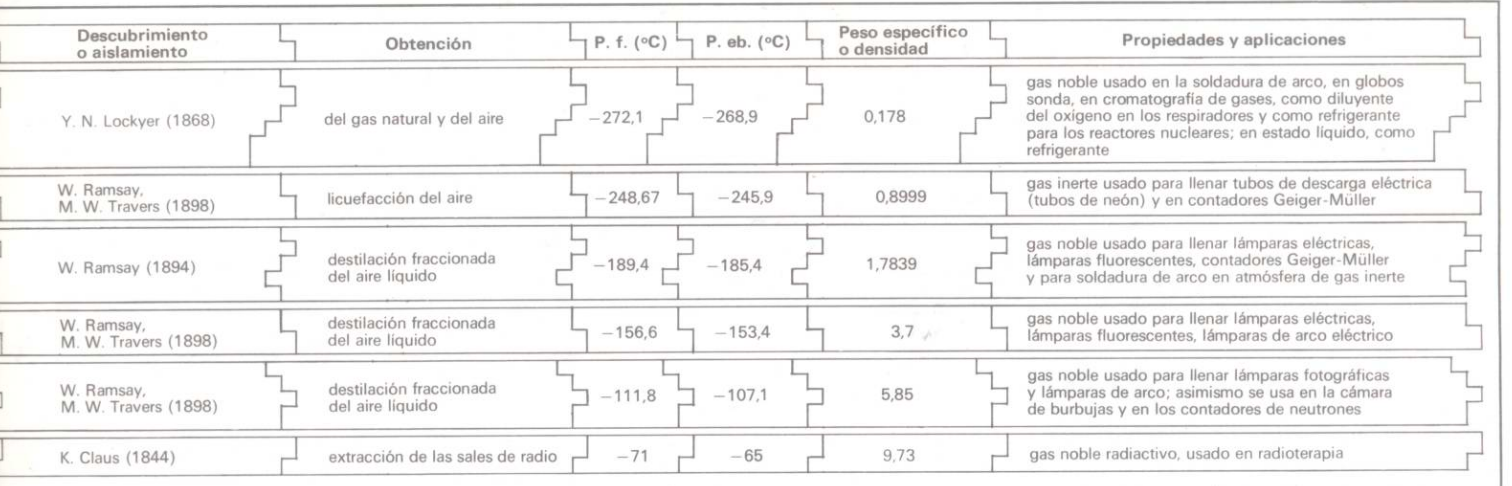
La actividad química de un elemento depende del número de electrones que le falta para completar el nivel más externo del átomo. La inactividad química de los gases nobles se debe al hecho de que el nivel más externo de cada uno de los átomos se encuentra completo. Hasta 1962 se pensaba que los gases nobles no podían en absoluto combinarse con otros elementos. En ese mismo año, sin embargo, el químico canadiense Neil Bartlett consiguió obtener un compuesto de xenón y flúor. Después también se han obtenido compuestos de criptón y radón con flúor.

Obtención y usos Excepto en el caso del helio y del radón, los gases nobles para uso comercial se obtienen en su mayoría de la atmósfera. El aire se enfría y se eleva a presiones extremas y en esas condiciones se condensa. Este aire líquido está compuesto por diversos elementos, cada uno de los cuales vuelve a su estado gaseoso a una temperatura determinada, que es diferente para cada gas. Cuando la temperatura sube gradualmente, cada uno de los gases constituyentes va volviendo secuencialmente al estado gaseoso y de esta forma pueden ser separados. El bajo punto de condensación del helio permite su extracción del gas natural, en el que es muy abundante, licuando el resto de los componentes de este gas con ayuda de aire líquido. El radón se obtiene de ciertos elementos radiactivos.

Se han encontrado numerosas aplicaciones para los gases nobles. La baja densidad del helio le hizo, desde el primer momento, aconsejable en los globos y dirigibles, dado que, a pesar de ser un poco más denso que el hidrógeno, es ininflama-



neón argón criptón xenón



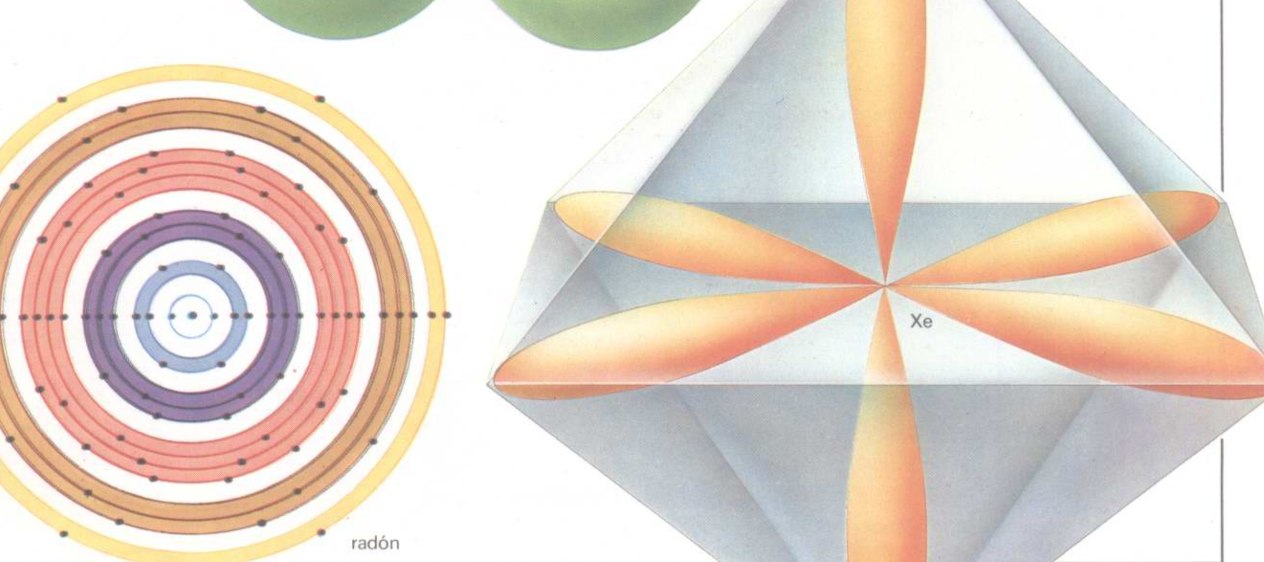
Descubrimiento o aislamiento	Obtención	P. f. (°C)	P. eb. (°C)	Peso específico o densidad	Propiedades y aplicaciones
Y. N. Lockyer (1868)	del gas natural y del aire	−272,1	−268,9	0,178	gas noble usado en la soldadura de arco, en globos sonda, en cromatografía de gases, como diluyente del oxígeno en los respiradores y como refrigerante para los reactores nucleares; en estado líquido, como refrigerante
W. Ramsay, M. W. Travers (1898)	licuefacción del aire	−248,67	−245,9	0,8999	gas inerte usado para llenar tubos de descarga eléctrica (tubos de neón) y en contadores Geiger-Müller
W. Ramsay (1894)	destilación fraccionada del aire líquido	−189,4	−185,4	1,7839	gas noble usado para llenar lámparas eléctricas, lámparas fluorescentes, contadores Geiger-Müller y para soldadura de arco en atmósfera de gas inerte
W. Ramsay, M. W. Travers (1898)	destilación fraccionada del aire líquido	−156,6	−153,4	3,7	gas noble usado para llenar lámparas eléctricas, lámparas fluorescentes, lámparas de arco eléctrico
W. Ramsay, M. W. Travers (1898)	destilación fraccionada del aire líquido	−111,8	−107,1	5,85	gas noble usado para llenar lámparas fotográficas y lámparas de arco; asimismo se usa en la cámara de burbujas y en los contadores de neutrones
K. Claus (1844)	extracción de las sales de radio	−71	−65	9,73	gas noble radiactivo, usado en radioterapia

Abajo y en la página anterior se muestran las estructuras electrónicas de todos los gases nobles, a excepción del helio. Como puede observarse, la última capa electrónica se encuentra en todos los átomos ocupada por ocho electrones y, por tanto, se halla completa, lo cual otorga a estos elementos la propiedad de ser poco activos químicamente, en comparación con otros elementos. En el caso del helio, su única capa posee dos electrones, lo que le confiere idéntica estabilidad que el resto de los gases nobles. La escasa actividad de estos elementos se manifiesta tanto en su extrema dificultad para formar compuestos con otros átomos como en la escasa atracción entre sus átomos, lo que posibilita que a temperatura ordinaria se encuentren en estado gaseoso, disminuyendo cada vez más su temperatura de ebullición cuanto menor es su número atómico, hasta llegar al caso extremo del helio.

ble y por lo tanto más seguro. El radón es radiactivo y está siendo usado en radioterapia. El neón se emplea en la iluminación artificial. Cuando la corriente eléctrica atraviesa un tubo conteniendo neón, se produce la emisión de una luz roja brillante, pudiéndose obtener diferentes colores al añadir otros gases. En multitud de procesos industriales, como en las soldaduras, las partes metálicas se calientan extremadamente y debe evitarse que tales partes reaccionen con el oxígeno del aire. Este proceso se evita realizando las operaciones en sistemas cerrados llenos de gases nobles, lo cual asegura el mantenimiento de la pureza del metal. Por razones similares se usan los gases nobles con objeto de crear atmósferas artificiales inertes, necesarias para el crecimiento de los cristales de silicio puro usados en los transistores. Estos son algunos ejemplos de las numerosas formas de aplicar la inactividad química de los gases nobles.

Véase **Argón y helio; Enlace químico y valencia; Gases**

Hasta el año 1962 existía el convencimiento de la total inactividad química de los gases nobles. Esta hipótesis había sido corroborada por la experiencia y por el estudio de la estructura electrónica de estos átomos. Sin embargo, se descubrió que un subnivel de la quinta capa electrónica del xenón puede dar lugar a orbitales *d*, que pueden proporcionar electrones aprovechables para la formación de enlaces covalentes, y en 1962 de esta forma se obtuvo, por primera vez, el compuesto tetrafluoruro de xenón ($F_4 X_6$), cuya estructura plana se representa a la izquierda. Abajo, la estructura octaédrica de los orbitales del gas cuando forma compuesto con el flúor.



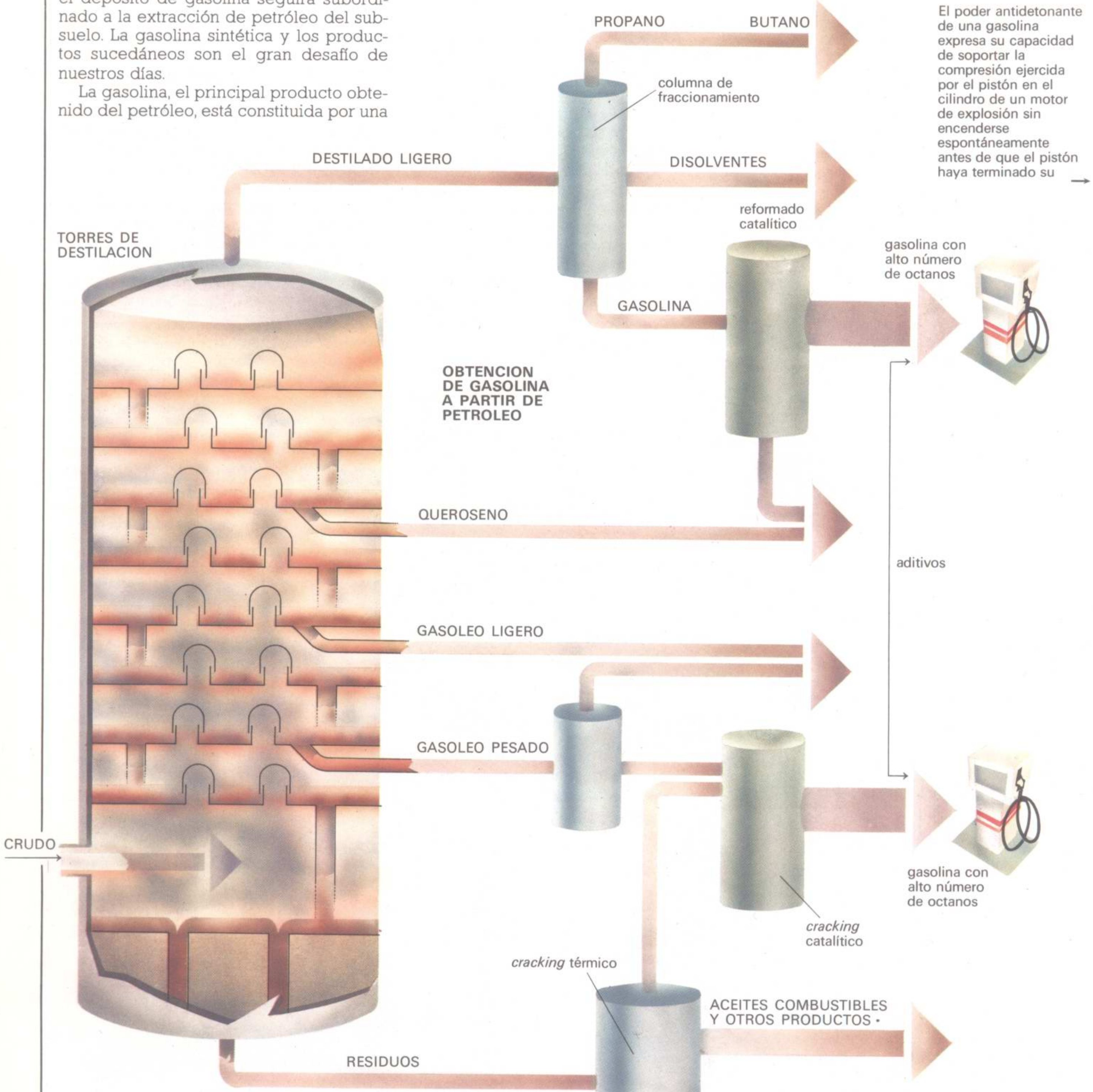
Gasolina

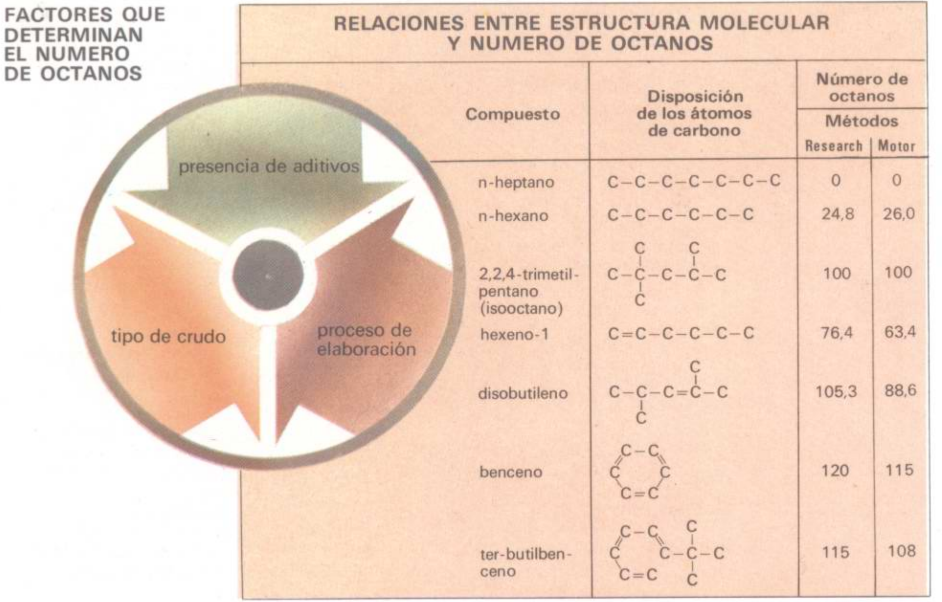
En el siglo XX, la gasolina —producto industrial obtenido del petróleo— ha sido uno de los elementos fundamentales que han posibilitado la revolución del transporte. Sin embargo, la crisis del petróleo de 1973 puso fin a la época de la energía abundante y barata, surgiendo los primeros problemas de demanda y oferta de gasolina que han hecho necesario el desarrollo de recursos energéticos alternativos y de otras tecnologías. No obstante, parece evidente que, al menos en lo que queda de siglo, el problema de llenar el depósito de gasolina seguirá subordinado a la extracción de petróleo del subsuelo. La gasolina sintética y los productos sucedáneos son el gran desafío de nuestros días.

La gasolina, el principal producto obtenido del petróleo, está constituida por una

La fracción de hidrocarburos obtenida de la simple destilación del petróleo que se puede utilizar directamente como gasolina (llamada *de primera destilación*) no supera el 20% del crudo de partida. Tal fracción está contenida en el destilado ligero. No obstante, para hacer frente a la creciente necesidad de carburante, se obtiene gasolina de las fracciones más pesadas, como el gasóleo pesado y los residuos de la destilación, sometiéndolas a un tratamiento llamado *cracking*, en el que los hidrocarburos de mayor peso molecular rompen sus ligaduras y se fragmentan en moléculas menores apropiadas al empleo como gasolina. El *cracking* se efectúa normalmente en presencia de catalizadores, que tienen el objeto de facilitar las reacciones sin tomar parte directamente en ellas. Las gasolinas de primera destilación son sometidas a menudo a un tratamiento llamado *reformado*, cuyo fin es "reformar" la estructura molecular (por ejemplo, mediante la formación de hidrocarburos aromáticos a partir de hidrocarburos de cadena abierta, siempre con catalizadores). Los hidrocarburos aromáticos mejoran la calidad de la gasolina, ya que aumentan su número de octanos.

El poder antidetonante de una gasolina expresa su capacidad de soportar la compresión ejercida por el pistón en el cilindro de un motor de explosión sin encenderse espontáneamente antes de que el pistón haya terminado su →





RELACIONES ENTRE ESTRUCTURA MOLECULAR Y NUMERO DE OCTANOS

Compuesto	Disposición de los átomos de carbono	Número de octanos — Métodos: Research	Motor
n-heptano	C–C–C–C–C–C–C	0	0
n-hexano	C–C–C–C–C–C	24,8	26,0
2,2,4-trimetil-pentano (isooctano)	C C C–C–C–C–C C	100	100
hexeno-1	C=C–C–C–C–C	76,4	63,4
disobutileno	C C–C–C=C–C C	105,3	88,6
benceno	C–C C C C=C	120	115
ter-butilbenceno	C–C C C C–C–C C=C C	115	108

mezcla de hidrocarburos (hexano, heptano y octano) cuyas moléculas tienen, por término medio, ocho átomos de carbono.

Se utiliza, sobre todo, como carburante para motores de combustión interna, ya que se mezcla fácilmente con el aire (vaporización) en el carburador; la energía química potencial de la gasolina se transforma, en gran proporción, en energía térmica cuando es encendida, a presión, durante la combustión (volatilidad); y su eficacia, referida a su aplicación en los motores modernos (índice de octano), es definida en términos de porcentaje de octano. Estas propiedades hacen de la gasolina el mejor carburante por velocidad, potencia y economía para los motores de combustión interna.

Producción La gasolina se obtiene del petróleo bruto mediante los siguientes procesos de refino: destilación fraccionada, craqueo térmico, craqueo catalítico y reformado catalítico. En primer lugar, el petróleo crudo se hace hervir sobre el fondo de torres cilíndricas de acero, llamadas *columnas de fraccionamiento*, donde la mezcla de hidrocarburos es separada en los diferentes niveles de la columna. La gasolina, uno de los componentes más ligeros, al vaporizarse asciende hasta la parte superior de la columna, donde, al enfriarse, se condensa. El proceso de craqueo, o *cracking*, consiste en romper las moléculas de gran tamaño de los hidrocarburos para obtener otras más pequeñas. Así, las fracciones más pesadas, como las que integran el gas-oil, pueden ser convertidas en gasolina. El craqueo puede ser *térmico*, aprovechando el calor para descomponer las fracciones más pesadas, o, con mejores rendimientos, *catalítico*, en el que un catalizador sólido, similar a la arena, es utilizado para "escindir" o descomponer separadamente las fracciones más pesadas.

Para mejorar la calidad de la fracción gasolina, ésta es sometida a un proceso de reformado, o *reforming*, en el que se mezcla con hidrógeno, calentando la mezcla en presencia de catalizadores, por lo que sus moléculas se redistribuyen.

Al producto refinado se puede añadir aditivos para adaptarlo a empleos particulares. La gasolina para automoción, resultado de la mayor refinación del producto bruto, contiene aditivos que aumentan el índice de octano e impiden la congelación y el deterioro, y detergentes para mantener limpio el motor.

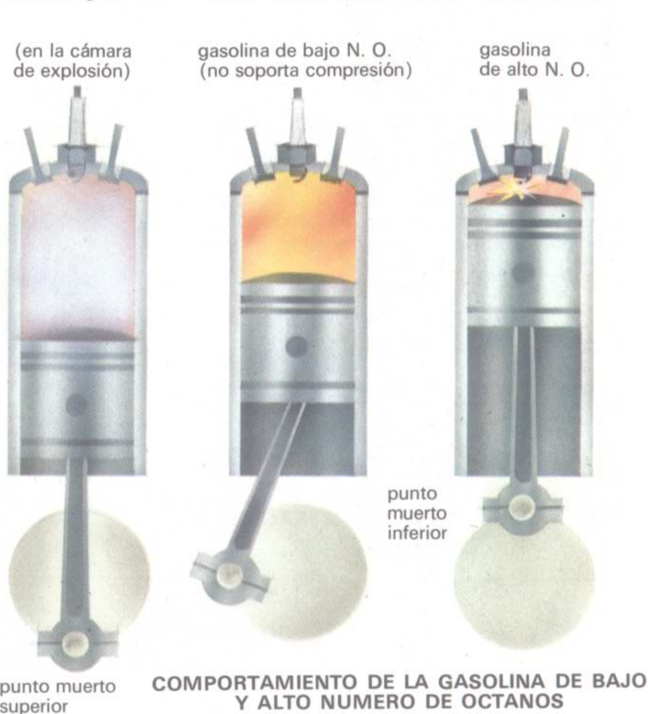
También es posible obtener una gasolina sintética mediante la *hidrogenación del carbón*, que consiste en hidrogenar una pasta, obtenida a base de aceite pesado y carbón finamente molido, en unos reactores de hidrogenación en que el catalizador es de níquel y la temperatura de 450 °C. Una vez hidrogenada la pasta, se procede a su destilación, obteniéndose gasolina, aceites ligeros y aceites pesados.

Aplicaciones La gasolina se usa en enorme proporción para hacer funcionar los motores de combustión interna con encendido por chispa (motores de explosión). En estos motores una mezcla de gasolina vaporizada y aire se enciende en un cilindro mediante una chispa, produciendo energía térmica que se convierte en energía mecánica. El motor alternativo de pistones, alimentado con gasolina, funciona sustancialmente con un ciclo en cuatro tiempos (aspiración, compresión, explosión y descarga). Gran parte de los motores de combustión interna se utiliza en los automóviles; el resto tiene una amplia gama de aplicaciones (autobuses, pequeños aeroplanos, embarcaciones con motor "fuera borda" o interior, bombas de dimensión media, utensilios mecánicos y gran cantidad de máquinas-herramienta).

Otros tipos de motor de gasolina son: el motor de combustión interna de dos tiempos, el motor rotativo (Wankel) y la turbina de gas.

Se supone que, con los niveles actuales de consumo, la gasolina será relativamente abundante hasta el año 2000. Esta estimación se basa en la presunción de que la producción de gasolina requerirá una reducción del 50% de la cantidad de petróleo necesaria para obtenerla gracias a las posibilidades previstas de producir carburante sintético, y a lo que se añade la fabricación de automóviles de reducido consumo. Parece probable que, si tales posibilidades no fuesen inminentes, muchos automóviles de gasolina de los que disponemos hoy tendrían que adaptarse a circular con carburantes alternativos o se convertirían en productos obsoletos, auténticas piezas de museo que recuerdan otra época.

Véase **Motor de combustión interna; Petróleo**



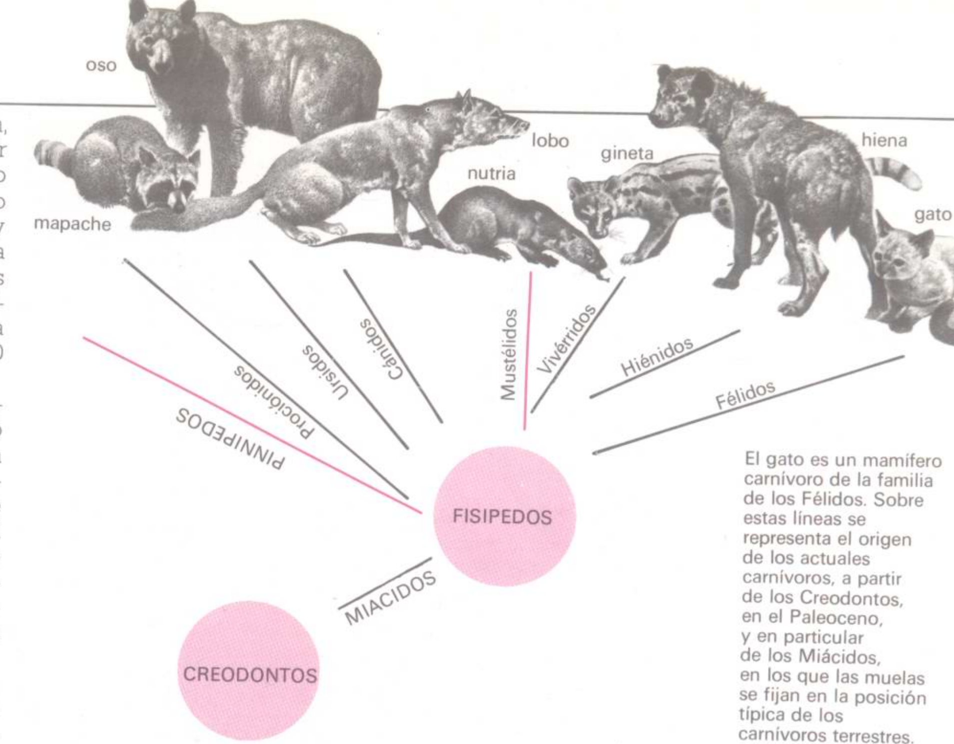
COMPORTAMIENTO DE LA GASOLINA DE BAJO Y ALTO NUMERO DE OCTANOS

→ carrera y la chispa salte en la bujía (a la derecha). El poder antidetonante se expresa según una escala de valores llamada *número de octanos* (*N. O.*), donde se asigna N. O. = 100 al hidrocarburo isooctano, bastante resistente a la detonación. Las gasolinas normales tienen un N. O. de aproximadamente 90, y la "super", de unos 96. El número de octanos de una gasolina depende no sólo del crudo de partida, sino también de los sucesivos tratamientos que varían su composición química, y puede ser aumentado añadiendo aditivos antidetonantes como el tetraetilplomo (esquema y cuadro de arriba).

Gato

Se cree que el gato doméstico común, *Felis catus*, ha evolucionado a partir del cruce entre el gato montés africano (*Felis lybica*) y el gato montés europeo (*Felis sylvestris*), que vive en el centro y sur de Europa. La familia de los Félidos, a la que además de los gatos pertenecen los tigres, leones, linces, ocelotes, etc., se originó a partir de los Miácidos, una familia de carnívoros del Eoceno, hace unos 50 millones de años.

Los gatos domésticos se pueden clasificar en dos grandes grupos, los de pelo corto y los de pelo largo, y comprenden más de treinta razas. Entre los primeros tenemos el siamés, el doméstico común de pelo corto, el burmés, el abisinio, el azul ruso, el habana marrón y el rex. Los de pelo largo suelen ser más sedentarios; entre ellos citaremos a los persas, los de angora, los himalayos y el longhair, cruce de persa y angora.



El gato es un mamífero carnívoro de la familia de los Félidos. Sobre estas líneas se representa el origen de los actuales carnívoros, a partir de los Creodontos, en el Paleoceno, y en particular de los Miácidos, en los que las muelas se fijan en la posición típica de los carnívoros terrestres.

Cazador solitario Si bien el gato doméstico ha abandonado las selvas y sabanas hace muchos siglos, todavía conserva el instinto de cazador hábil y astuto. Está dotado de un agudo sentido del olfato y de vista nocturna; es furtivo, paciente y silencioso a la hora de cazar, y a diferencia del perro, es mucho más solitario e independiente y se puede asilvestrar con mucha más rapidez.

Como buen cazador nocturno, el gato ha desarrollado la capacidad de ver en la oscuridad, para lo que posee una capa de células en el ojo que refleja la luz que llega a la retina y la amplifica: a ésto se debe el destello nocturno de su mirada.

Las cuerdas vocales del gato son también bastante insólitas. Posee dos grupos superpuestos, que producen sonidos diferentes. Se cree que las cuerdas vocales superiores son las que se usan para emitir gruñidos y ronroneos, mientras que las inferiores son las que emiten el clásico maullido. De todas formas, no se sabe con certeza cuál es el origen del ruido del ronroneo, aun cuando hay una teoría bastante aceptada que lo atribuye a vibraciones internas del tórax inducidas por una intensa actividad de los vasos sanguíneos locales más voluminosos.

Los gatos son capaces de percibir sonidos de frecuencia muy elevada, lo que explica su especial sensibilidad a las voces femeninas y a los sonidos emitidos por los ratones, que el oído humano es incapaz de apreciar.

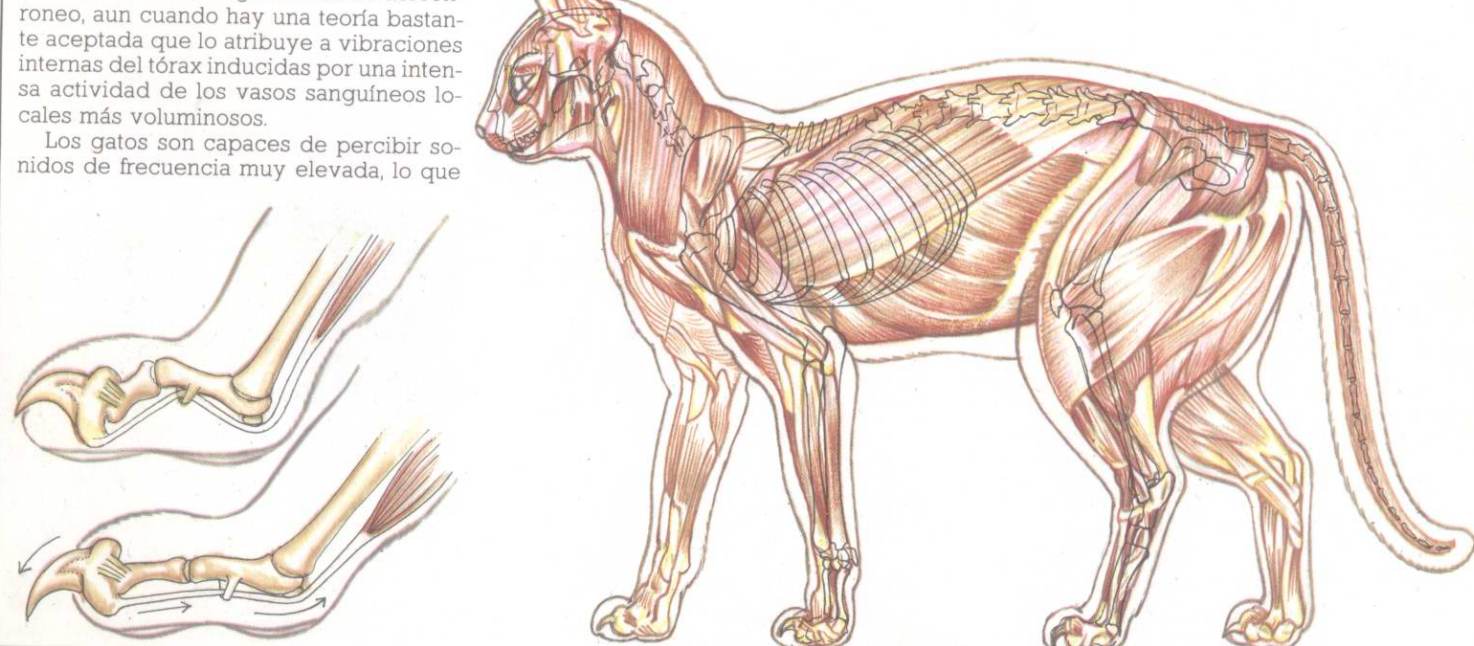
Los bigotes táctiles son otro de los signos distintivos de este animal. Se trata de delicados órganos sensoriales que le permiten percibir el espacio por el que se mueve.

Los gatos son muy prolíficos, y pueden tener hasta tres camadas al año, con cuatro o cinco cachorros por camada. La mayor parte de las hembras pare por primera vez entre el primer y el segundo año de edad, pero a los seis meses ya ha alcanzado la madurez sexual. El período de gestación dura más de dos meses.

Las hembras crecen con más rapidez que los machos, y a los ocho meses alcanzan ya las dimensiones adultas (los machos entre los nueve y los doce). La mayoría de los gatos no pasa de 25 cm de altura, mientras que el peso es muy variable, llegando a alcanzar en algunos individuos los 9 kilogramos.

Los gatos pueden padecer muchas enfermedades, entre ellas algunas típicas de la patología humana, como la diabetes, el cáncer, la epilepsia o las enfermedades cardiacas. La principal enfermedad que pueden transmitir al hombre es la toxoplasmosis, provocada por un protozoo que afecta al feto de las mujeres embarazadas y produce malformaciones; la "enfermedad del arañazo del gato", causada por un virus aún no identificado, es bastante frecuente y produce inflamaciones locales y en los ganglios.

Véase **Animal; Vertebrados**





En la página anterior, abajo, a la izquierda, esquema de la garra de un felino, dotada de un mecanismo para retraerla dentro de una bolsa cutánea. De esta forma la uña no se gasta. Sobre estas líneas, formas y dimensiones de la cola de varios tipos de gato (el de la isla de Man no tiene cola). Los huesos y los músculos del gato son, como en todos los felinos, apropiados para el salto y los movimientos ágiles. Los músculos más robustos están en la región lumbar, en las extremidades posteriores, en el cuello y en los hombros (página anterior, abajo, a la derecha).

Géiser

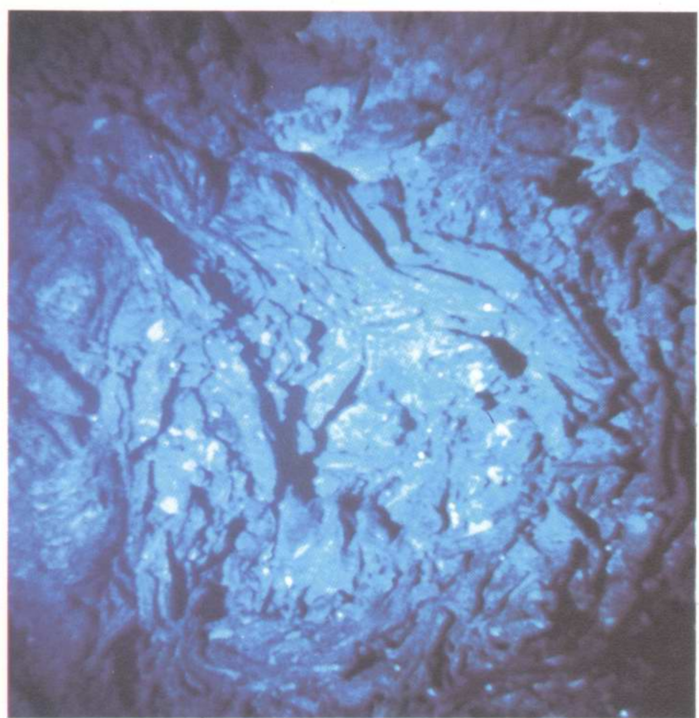
El ejemplo más célebre de géiser es, sin duda, el del "Old Faithful" (Viejo fiel), situado en el Parque Nacional de Yellowstone, en los Estados Unidos, que cada vez que entra en erupción arroja entre 38.000 y 45.000 litros de agua hirviente. La frecuencia de erupción es bastante regular, variando entre 37 y 93 minutos. Dicha frecuencia experimenta un ligero aumento al acercarse los períodos de Luna nueva y Luna llena, probablemente porque la Luna provoca una pequeña "marea terrestre" de 5 a 10 cm en la roca, abriendo y cerrando ligeramente los canales por los que circula el agua. La columna de agua se eleva hasta una altura de 30 a 50 metros. Otros géiseres no manifiestan normalmente comportamientos tan regulares.

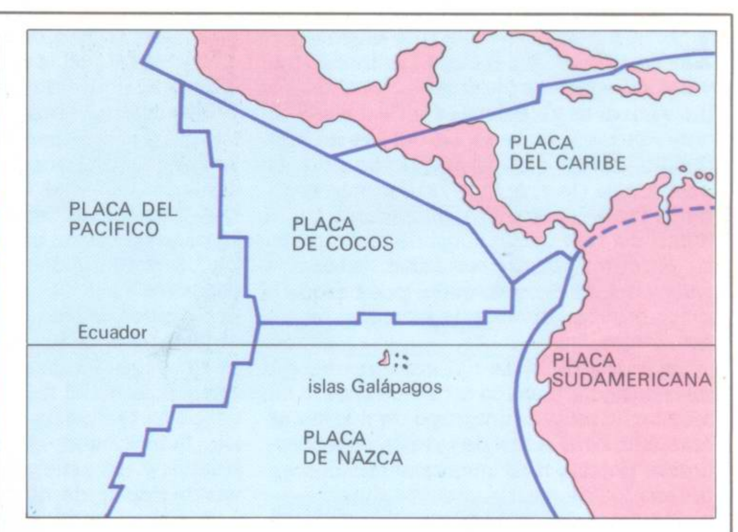
Funcionamiento de un géiser Cuando el agua superficial se filtra en profundidad a lo largo de las fisuras existentes en el zócalo rocoso de las zonas volcánicas, en las cuales la corteza terrestre se encuentra a elevadas temperaturas, entra en ebullición y vuelve violentamente hacia la superficie en forma de chorro de vapor. Esto es lo que se conoce con el nombre de *géiser*; la palabra viene del término islandés "geysir" que significa "pozo de erupción espontánea". Los géiseres, en su mayor parte, se encuentran concentrados en tres zonas de la Tierra: Yellowstone, en los Estados Unidos; Islandia y Nueva Zelanda. Hay algunos más en Japón y en la península de Kamchatka, en la Unión Soviética.

El mecanismo de la erupción es el siguiente: la lluvia o el agua procedente de los ríos o lagos se filtra lentamente en el



Arriba, el espectacular chorro de un gran géiser en el momento de la erupción. Más o menos periódicos, estos chorros tienen su origen en el progresivo calentamiento de las aguas subterráneas.





suelo a través de las grietas de las rocas. Algunos de estos canales son sinuosos, con recodos. Cuando el agua alcanza una profundidad de aproximadamente 100 metros, la roca volcánica caliente la hace hervir. El vapor, que es más ligero que el agua, sube y queda temporalmente aprisionado en los recovecos de los canales rocosos. Durante ese tiempo, el vapor, al ser un fluido compresible, va adquiriendo una enorme presión. Al final, el vapor aprisionado en la cavidad rocosa alcanza una presión tal que logra vencer el peso de la columna de agua que hay encima y escapa hacia el exterior. La disminución de la presión produce una violenta liberación de energía, algo parecido a una explosión. Como consecuencia de ello, una columna de agua hirviendo y vapor es arrojada violentamente al exterior a través del conducto de alimentación, originando una espectacular erupción. El diámetro de los conductos está probablemente condicionado por las mareas sólidas antes mencionadas, lo que explicaría la variable duración de los intervalos de erupción.

En profundidad, donde las rocas están a altas temperaturas, el agua sobrecalentada tiende a disolver ciertas sustancias minerales. Cuando el agua saturada de dichas sustancias sale a la superficie, se enfría rápidamente. Por consiguiente, las sustancias disueltas en ella precipitan formando en torno del surtidor un depósito constituido por una mezcla de sílice (SiO_2) o carbonato cálcico ($CaCO_3$) con diversas impurezas, como hematites (Fe_2O_3) o minerales de cobre. Dichas impurezas forman bandas coloreadas y dibujos, algunos de gran belleza. El cráter de los géiseres puede ser abierto y humeante o estar lleno de agua hirviendo y fango.

Véase **Energía; Energía geotérmica; Volcán**



El funcionamiento del géiser se puede ver en el esquema de la página anterior, a la izquierda: las aguas subterráneas entran en las cavidades de rocas calientes y alcanzan altas temperaturas. La ebullición comienza en una zona cercana a la superficie; una parte del agua sale hacia arriba en forma de chorro, descargando la presión de la que se encuentra debajo, que, a su vez, también entra en ebullición y es expulsada en un chorro sucesivo.
Arriba, un gran campo de lava submarina con actividad termal asociada, situado en una zona profunda en las proximidades de las islas Galápagos (mapa de al lado). Estas fuentes de agua caliente (350 °C o más) son arrojadas desde conductos abiertos en el fondo del mar a presiones de aproximadamente 350 kg por centímetro cuadrado.
Los géiseres son una manifestación natural de la energía geotérmica que encierra la corteza terrestre y que puede ser controlada y utilizada por el hombre allí donde a primera vista no parece posible. A la derecha se muestra una gran tubería que sirve para llevar el vapor producido por un surtidor de la región de Larderello, en Toscana, a las turbinas conectadas a los generadores de energía eléctrica.
En Italia, la energía geotérmica procedente de los surtidores de vapor (*soffioni*) viene siendo utilizada desde hace varios decenios. A lo largo de los últimos años, otros países, como Nueva Zelanda y Estados Unidos, han venido incrementando la utilización de este tipo de energía, barata, no contaminante y siempre disponible.

La belleza de su estructura cristalina y su dureza son reflejo de la calidad y del valor de una piedra preciosa, ya que las variedades de gemas más duras son también las más raras. La dureza de dos gemas puede compararse frotando una contra otra (*test de la raya*). La más blanda se raya o se parte bajo la acción de la más dura. Este hecho constituye una prueba para detectar gemas falsas, talladas a veces en vidrio coloreado, pues éste es un material relativamente blando.

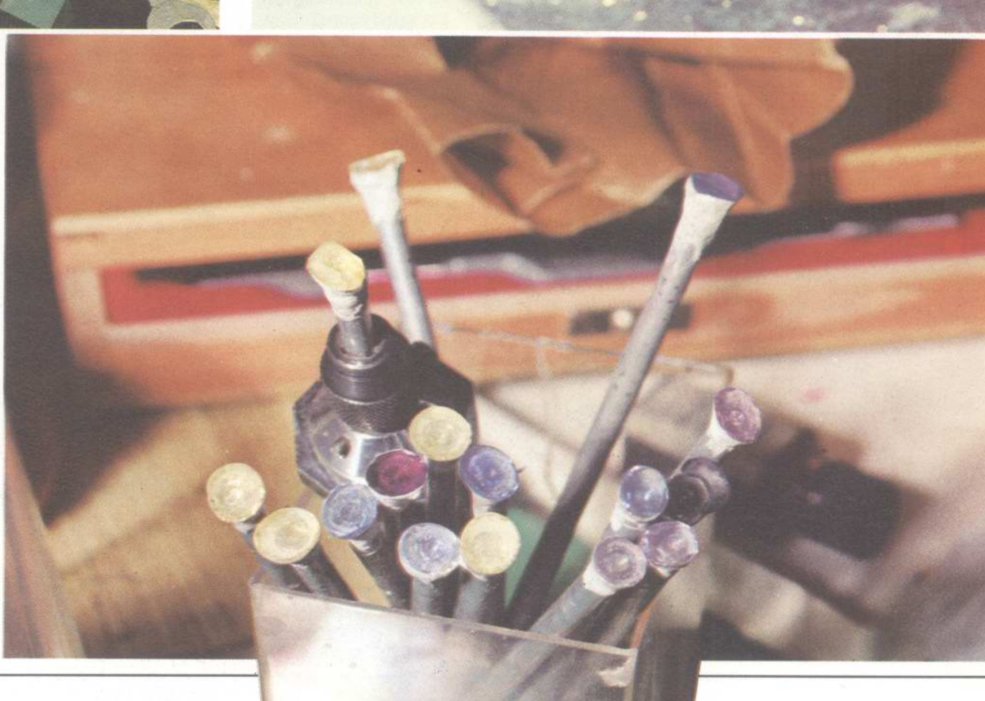
La escala de Mohs Existe una escala de referencia, llamada *escala de dureza de Mohs*, que emplea un grupo de minerales comunes para el *test* de la raya. Está constituida por los diez minerales siguientes, ordenados de menor a mayor dureza:

1. *talco*: extremadamente blando; compuesto por silicato de magnesio hidratado (ligado químicamente con agua); jabonoso al tacto; es la base del borotalco;
2. *yeso*: sulfato de calcio hidratado; se puede rayar con la uña; blanco o transparente; es la base del estuco;
3. *calcita*: carbonato de calcio; blanco o transparente; se puede rayar con una navaja; es el componente principal de la caliza o del cemento;
4. *fluorita*: fluoruro de calcio transparente; tiene un bonito color azul oscuro o violeta; a menudo los cristales son cubos perfectos;
5. *apatito*: fosfato de calcio blanco; está presente en los huesos; se usa para la fabricación de fertilizantes;
6. *ortosa*: es el más corriente de los feldespatos; tectosilicato de aluminio y potasio, monoclínico, difundido en granitos, sienitas y, en general, en las rocas intrusivas de tipo ácido; no se raya con la navaja;
7. *cuarzo*: es el mineral más común en las arenas; óxido de silicio; transparente, ahumado o rosa; se utiliza en la fabricación del vidrio;
8. *topacio*: blanco, transparente, amarillo, azul o rosa; más bien raro; silicato de aluminio;
9. *corindón*: óxido de aluminio de coloración variable; el tipo rojo se llama *rubí*; el tipo azul es el *zafiro*; utilizado en la industria como abrasivo;
10. *diamante*: es el mineral más duro; carbono puro; cristaliza a presiones muy elevadas, a profundidades de 80 kilómetros e incluso mayores; utilizado como abrasivo industrial.

No se deben emplear gemas preciosas para el *test* de la raya, pues sus aristas terminan desgastándose con la consiguiente pérdida de valor de la piedra. Se pueden utilizar, sin embargo, minerales de dureza semejante, pero de baja calidad (baratos): por ejemplo, los diamantes industriales de color gris oscuro tienen muy poco valor económico, pero responden óptimamente como indicadores del grado 10 de dureza. Una barra de acero corriente —con una







El primer paso en el tallado de las gemas es la selección de las piedras. Algunas pueden mostrar, incluso en bruto, la calidad de transparencia y luminosidad de la piedra tallada. En cambio otras, como el diamante, tienen a menudo una capa superficial que no deja entrever las propiedades del interior. En este caso, la selección entre el muestrario depende de la experiencia del tallador. Si éste es experto, verá ciertos signos exteriores, casi imperceptibles, por los que valorará la piedra. A la derecha, el pegado de la piedra ya preformada sobre la varilla soporte. Ahora la piedra muestra ya la tabla o superficie principal, el cinturón cilíndrico y la parte posterior, o culata, con forma de cono, que se fijará a la varilla. Esta acoge a la piedra en su extremo anterior, en una cavidad cónica con un vértice más agudo que el de la culata de la gema. Un pegamento en caliente fija la piedra al cono: el borde del cono de la culata se apoya sobre el contorno del cono metálico de la varilla, formando así un soporte perfecto para la piedra. El volumen que queda libre por la diferencia de ángulo de los dos conos se rellena de pegamento. La varilla soporte es de forma cilíndrica, lo que asegura la perfecta orientación de la piedra.

dureza de alrededor de 5,5— puede ser también un buen indicador para las durezas medias.

Formas cristalinas En la identificación de gemas, junto con la dureza, la prueba definitiva es la forma cristalina; la densidad es también otro indicador valioso. El color es una propiedad útil, aunque puede resultar engañoso, pues a veces varía mucho, incluso entre cristales de una misma especie mineral.

En el mundo de las gemas, el tallado reviste una importancia particular. En la Naturaleza, la gema se presenta normalmente con el aspecto de una piedra de forma irregular. En consecuencia, hay que estudiarla previamente con atención para identificar su forma cristalina; seguidamente se corta siguiendo los planos de exfoliación de su estructura cristalina. A continuación, las caras obtenidas se pulen para conferirle brillo e iridiscencia.

A la derecha de estas líneas puede verse un ópalo de fuego procedente de México. Este mineral es amorfo. Es decir, no se trata de una estructura cristalina con una disposición ordenada de las partículas componentes, sino de un coloide. Minerales como éste se han formado por deposición de partículas coloidales en un medio acuoso. Aunque el trozo de mineral que estamos comentando tiene un aspecto que atrae y gusta, la reflexión coloreada y la transparencia son fenómenos muy variables. En este caso sí tiene sentido cortar la piedra en bruto para separar la parte más interesante de la misma y darle seguidamente una forma artística que nunca se encontraría en la Naturaleza, puesto que el mineral, al no ser cristalino, no la posee. Así, por ejemplo, se puede hacer un cabochón, es decir, una sección de elipsoide, sin que esto implique violentar la Naturaleza. Asimismo, en el caso de minerales que se encuentran casi siempre sin el *hábito* característico, y aquéllos que pese a tenerlo no sean puros, tiene sentido tallarlos para hacerlos resaltar y darles mayor atractivo.





Algunas gemas no son cristalinas, sino amorfas (no tienen una estructura regular de los átomos). La más conocida entre éstas es el ópalo, cuya encendida tonalidad resulta siempre fascinante. Tiene la misma composición química que el cuarzo de la arena, o que el vidrio (SiO_2), compuesto químico en el que los átomos de silicio y oxígeno están en proporción de uno a dos, y que en el caso del ópalo va acompañado por una cierta cantidad de agua. Los ópalos se pueden estropear con el calor, puesto que al desprenderse del agua no queda más que arena común.

Una forma peculiar del carbonato cálcico (el mineral es el aragonito) es la perla que se forma en el interior de la ostra. El compuesto químico precipita alrededor de un núcleo inicial, que puede ser un pequeño grano de arena. En el Japón este núcleo se inserta manualmente en las ostras que se crían de manera controlada en "criaderos" submarinos. Las perlas resultantes se llaman *cultivadas*.

En los últimos veinte años se ha encontrado la manera de producir artificialmente algunas gemas, pero el coste de la fabricación de los diamantes de calidad gemológica es por el momento prohibitivo. Los rubíes y los zafiros, en cambio, se fabrican hoy en día con éxito a costes razonables.

Véase **Carbono; Cristales y Cristalografía; Diamante; Minerales**



La piedra sigue ahora un proceso de elaboración en varias fases. En la primera (arriba, a la izquierda), la piedra en bruto se talla para obtener el plano que servirá de tabla o faceta principal. El tallado se efectúa con un disco de bronce diamantado. Seguidamente, se procede a dar forma cilíndrica al cuerpo de la piedra; a continuación, en la parte anterior del cilindro se talla el perfil cónico de la corona y más tarde el perfil cilíndrico del filetín. Arriba, a la derecha, se saca el brillo de la meseta por abrasión con una pasta diamantada sobre un disco de metal rotatorio. Por fin, a la derecha, se inicia el facetado de la corona.

Indice
Volumen VI

